DK



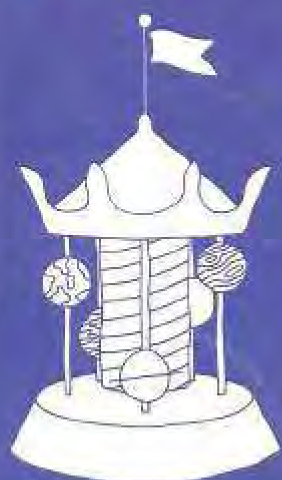
KOZMİK GENİŞLEME HIZLANIYOR



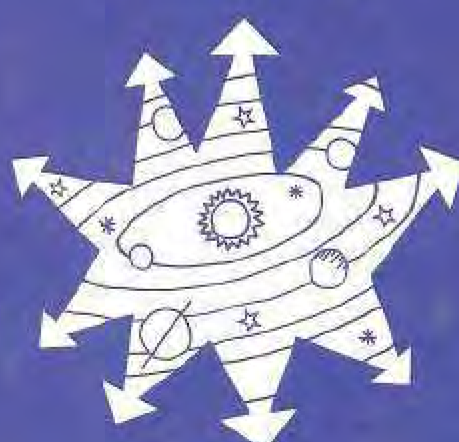
HAREKET ETMEYEN YILDIZLAR TEKDÜZE BATIYA DOĞRU GİDER



DÜNYA DIŞI ZEKÂ ARAYIŞI, KENDİMİZİ ARAMAKTIR



KÜTLEÇEKİM GEZEGENLERİN DEVİNİMİNİ AÇIKLAR



EVREN BÜTÜN YÖNLERDE GENİŞLİYOR



UZAYZAMANDA DALGACIKLAR



YILDIZLARA GİDEN YOL AÇIKTIR



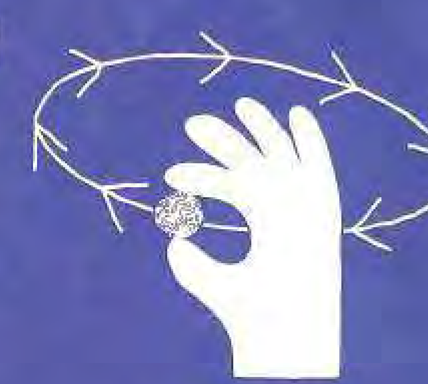
YERİNİ DEĞİŞTİRDİĞİ İÇİN BİR KUYRUKLUYILDIZ OLDUĞUNU ANLADIM

ASTRONOMİ
KİTABI

GÖRELİLİĞİN KESİN BİR ÇÖZÜMÜ, KARA DELİKLERİ ÖNGÖRÜR



GEZEGENİN EN DOĞRU YOLU BİR ELİPSTİR





MADDENİN YAVAŞ İMHA SÜRECİ



YILDIZLAR KİMYASAL ELEMENT FABRİKALARIDIR

BÜYÜK FİKİRLERİ KOLAYCA ANLAYIN

ALFA

ASTRONOMİ

KİTABI



ASTRONOMİ

KİTABI

Alfa Yayınları: 3227
Başvuru: 16

ASTRONOMİ KİTABI

Orijinal Adı The Astronomy Book
İngilizce Aslından Çeviren Ahmet Fethi

1. Basım: 2018
ISBN 978-605-171-555-1

Sertifika No: 10905

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak
Genel Müdür Vedat Bayrak
Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu
Kıdemli Editör Victoria Heyworth-Dunne
Kıdemli Sanat Editörü Gillian Andrews, Nicola Rodway
Sanat Yönetmeni Karen Self
Tasarım Uygulama Elif Çepikkurt

Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti.
Alemdar Mahallesi, Ticarethane Sokak No: 15 34110 Cağaloğlu, İstanbul/Türkiye
Tel: (0212) 511 53 03 - 513 87 51 - 512 30 46
Faks: (0212) 519 33 00
www.alfakitap.com info@alfakitap.com

A WORLD OF IDEAS: SEE ALL THERE IS TO KNOW (www.dk.com)
Çin'de üretilmiştir. Printed in China.

KATKIDA BULUNANLAR

JACQUELINE MITTON, DANIŞMAN EDİTÖR

Jacqueline Mitton, astronomi üzerine çocuk kitapları da dahil 20'den fazla kitabın yazarıdır. Diğer birçok kitaba katkıda bulunmuş, editörlük ve danışmanlık yapmıştır. Astronom olmak Jacqueline'in çocukluk tutkusuydu. Oxford Üniversitesinde fizik okudu ve daha sonra, hâlâ yaşadığı Cambridge'de doktorasını yaptı.

DAVID W. HUGHES

David W. Hughes, Sheffield Üniversitesinde Astronomi Profesörüdür. Kuyrukluyıldızlar, asteroidler ve astronomi tarihi konusunda uluslararası bir otoritedir. 40 yıldan fazla bir süreyi öğrencilerine astronominin ve fiziğin keyfini açıklamakla geçirdi ve Ay, Güneş sistemi ve Beytlehem yıldızı üzerine kitapların yanı sıra 200'den fazla makale yayımladı. Avrupa Uzay Ajansının Halley Kuyrukluyıldızını araştıran uzay aracı GIOTTO ve Smart 1 uydusunda eş-araştırmacıydı. David çok sayıda uzay ve astronomi komitesinde görev aldı ve hem Royal Astronomical Society'nin (Kraliyet Astronomi Derneği) hem British Astronomical Association'ın (Britanya Astronomi Birliği) başkan yardımcılığını yapmıştır.

ROBERT DINWIDDIE

Robert Dinwiddie astronomi, kozmoloji, yerbilimi ve bilim tarihi konularında eğitici resimli kitaplarda uzman bir bilim yazarıdır. DK Yayınlarının *Universe, Space, The Stars, Science, Ocean, Earth,* ve *Violent Earth* kitapları da dahil, 50'den fazla kitap yazmış ya da yazımına katkıda bulunmuştur. Güneybatı Londra'da yaşıyor ve gezmeyi, yelkenciliği ve yıldızlara bakmayı seviyor.

PENNY JOHNSON

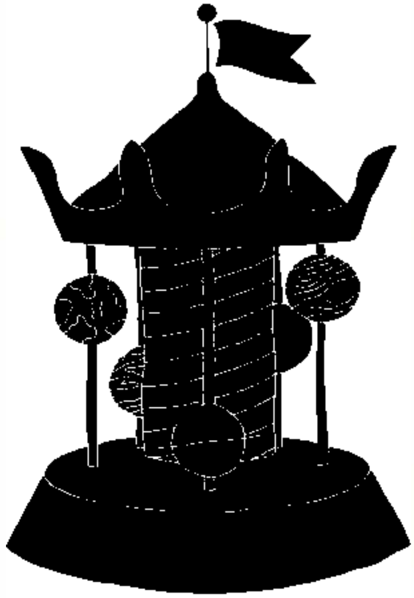
Penny Johnson bir bilim öğretmeni ve daha sonra okullara bilim kitapları üreten bir yayıncı olmadan önce, 10 yıl askeri uçaklarda havacılık mühendisi olarak çalıştı. Penny son 15 yıldır tam zamanlı eğitim yazarlığı yapmaktadır.

TOM JACKSON

Tom Jackson, İngiltere Bristol'de yaşayan bir bilim yazarıdır. Balıktan dine kadar uzanan her türlü konuda yaklaşık 150 kitap yazmış ve çok sayıda kitaba da katkıda bulunmuştur. Tom çoğu bilim ve teknolojiyle ilgili olmak üzere çocuklara ve yetişkinlere yönelik kitaplar yazıyor. Brian May ve Patrick Moore ile birlikte yaptıkları da dahil, birçok astronomi kitabında çalışmıştır.

İÇİNDEKİLER

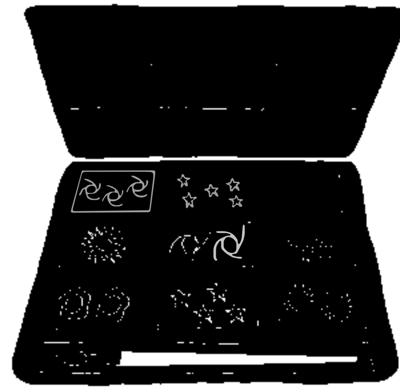


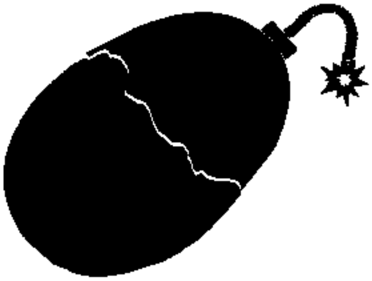


URANÜS'TEN NEPTÜN'E
1750–1850

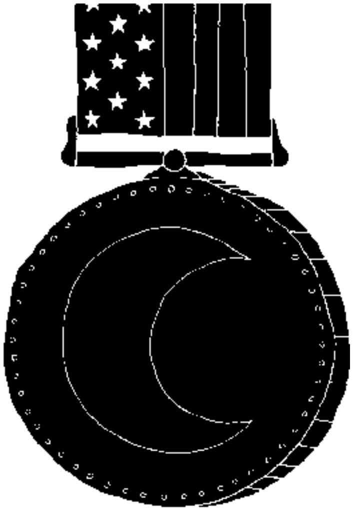


ASTROFİZİĞİN YÜKSELİŞİ
1850–1915

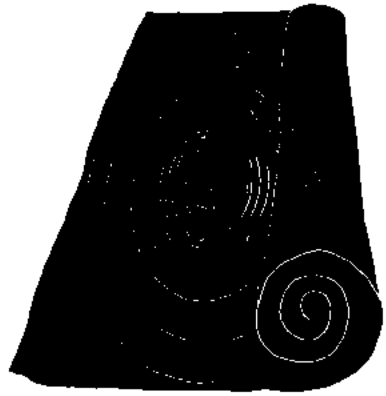




ATOMLAR, YILDIZLAR VE GALAKSİLER 1915–1950



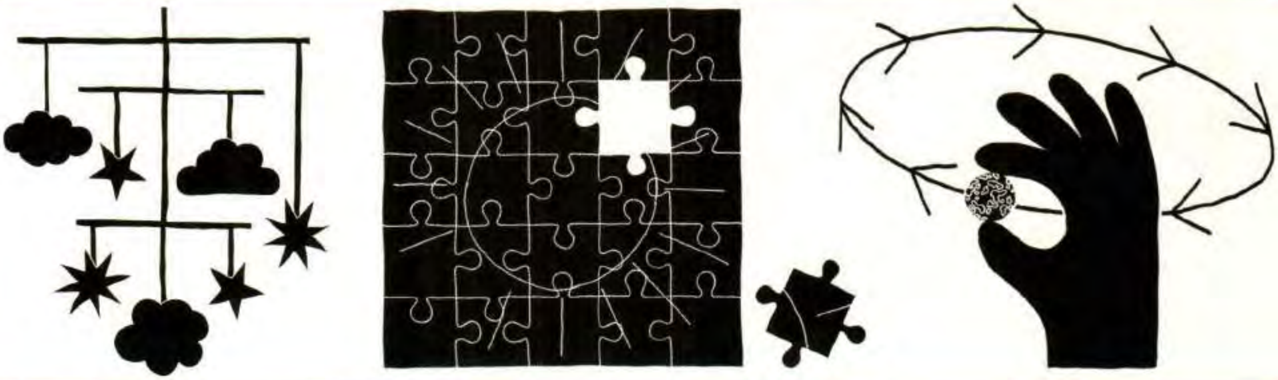
EVREN'DE YENİ PENCERELER 1950–1975



TEKNOLOJİNİN ZAFERİ
1975–ŞİMDİ



GİRİŞ



Tarih boyunca astronominin amacı, Evren'i anlamak olmuştur. İlkçağ dünyasında astronomlar gezegenlerin yıldızlı gökyüzünde neden ve nasıl dolaştıklarını, gizemli kuyrukluyıldızların anlamını, Güneş'in ve yıldızların görünür uzaklığını çözmeye çalıştılar. Bugün vurgu değişmiş ve Evren'in nasıl başladığı, neden meydana geldiği ve nasıl değiştiğiyle ilgili sorulara önem verilmeye başlanmıştır. Galaksiler, yıldızlar ve gezegenler gibi, Evren'in bileşenlerinin daha büyük resme nasıl sığdıkları ve Dünya'nın ötesinde yaşam olup olmadığı, insanların hâlâ yanıtlamaya çabaladığı sorulardan bazılarıdır.

Astronomiyi anlamak

Zamanın kafa karıştırıcı kozmik soruları, her zaman onları yanıtlayacak büyük düşüncelere ilham vermiştir. Binlerce yıl boyunca meraklı ve yaratıcı zihinleri harekete geçirmiş ve felsefede, matematikte, teknolojide ve gözlem tekniklerinde çığır açıcı ilerlemelere yol açmıştır. Tam yeni bir atılım kütleçekim dalgalarını açıklayacak gibi olurken, başka bir keşif yeni bir muammayı ortaya atıyor. Teleskoplarla ve çeşitli türden dedektörlerle gördüğümüz şekliyle Evren'in bilinen bileşenleriyle ilgili bütün öğrendiklerimize rağmen, en büyük keşiflerimizden biri, hiç anlamadığımız bir şeydir: Evren'in malzemesinin yüzde 95'inden fazlası "kara madde" ya da "kara enerji" biçimindedir.

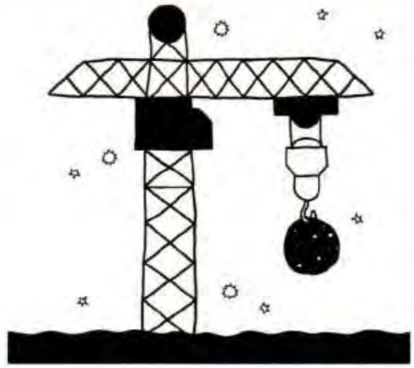
Astronominin kökeni

Bugün Dünya'nın en kalabalık alanlarında birçoğumuz, gece gökyüzünün pek farkında olmayız. Yapay aydınlatmanın parlaklığı yıldızların zayıf ve hassas ışığını bastırdığı için, gökyüzündeki yıldızları göremiyoruz. Bu ölçekte ışık kirliliği, 20. yüzyılın ortasından itibaren patladı. Eskiden gökyüzünün yıldız örüntüleri, Ay'ın evreleri ve gezegenlerin katettiği yollar, gündelik deneyimin bilinen bir parçasıydı ve daimi bir merak kaynağıydı.

Çok az kişi, sahiden karanlık bir gecede, Samanyolu'nun gökyüzünde muhteşem bir yay çizdiği berrak bir gökyüzünü ilk kez görünce heyecanlanmaz. Atalarımız, başları üzerindeki büyük gök kubbede düzen ve anlam ararken, merak ile huşunun bir karışımıyla hareket ettiler. Gökyüzünün gizemi ve ihtişamı, tinsel ve ilahi olanla açıklandı. Ama aynı zamanda tekrarlayan döngülerin düzenliliği ve öngörülebilirliği, akan zamanı işaretlemek gibi yaşamsal pratik yararlar da sağladı.

Arkeoloji, tarihöncesi zamanda bile, astronomik fenomenlerin Dünya'nın her tarafında toplumlar için kültürel bir kaynak olduğunu gösteren bolca kanıt sunmaktadır. Yazılı kayıtların olmadığı yerlerde, ilk toplumların inançları ve bilgisi konusunda ancak spekülasyon yapabiliriz. Yazılı biçimde günümüze ulaşan en eski astronomik kayıtlar Mezopotamya'dan, bugün Irak ve komşu ülkelerin sınırları içinde kalan, Dicle ile Fırat arasındaki ve etrafındaki bölgeden gelir. Astronomik bilgilerin yazılı olduğu kil tabletler, MÖ 1600 civarına dayanır. Bugün bildiğimiz takımyıldızlarının bazıları, daha da öncesinden, MÖ 2000'lere uzanan Mezopotamya mitolojisinden bugüne gelmiştir.

> Felsefe bu büyük kitapta, gözlerimizin önünde sürekli açık duran Evren'de yazılıdır.
> **Galileo Galilei**


Astronomi ve astroloji

Mezopotamyalı Babilliler kehanetle çok ilgilenirdi. Onlara göre gezegenler tanrıların tezahürleriydi. Gezegenlerin gizemli hareketleri ve gökyüzünde sıra dışı olaylar tanrılardan gelen alametlerdi. Babilliler bunları geçmiş deneyimle ilişkilendirerek yorumladılar. Onların düşünce tarzına göre, semavi olan ile dünyevi olan arasındaki bağlantıları saptamak için, uzun dönemler boyunca ayrıntılı kayıt tutmak çok önemliydi ve burçları yorumlama pratiği, MÖ 6. yüzyılda başladı. Çizelgeler, bir kişinin doğumu gibi önemli bir zamanda Güneş'in, Ay'ın ve gezegenlerin burçlar kuşağının neresinde göründüğünü göstermekteydi.

2000 yıldır, insan yaşamının ve tarihinin seyrinin izini sürmek için gök cisimlerinin göreli konumlarını kullanan astroloji ile astrolojinin dayandığı astronomi arasında çok az ayrım vardı. Saf meraktan çok astrolojinin ihtiyaçları, gökyüzünün gözlemlenmesine gerekçe oldu. Ne var ki, 17. yüzyılın ortasından itibaren bilimsel bir faaliyet olarak astronomi, geleneksel astrolojiden ayrıldı. Bugün astronomlar, bilimsel kanıtlara dayanmadığı için astrolojiyi reddederler ama paha biçilmez tarihsel kayıtlar bıraktıkları için geçmişin astrologlarına minnettar olmaları için haklı nedenleri de vardır.

Zaman ve gelgit

Eskiden astroloji için kullanılan sistematik astronomik gözlemler, hem zamanı kaydetme hem de navigasyon aracı olarak giderek daha fazla önemli olmaya başladı. Dünya sanayileştikçe ve uluslararası ticaret geliştikçe, ülkelerin ulusal gözlemevleri kurmak için haklı askeri ve sivil nedenleri vardı. Yüzyıllarca yalnızca astronomlar, Dünya'nın zamanını kaydetme becerisine ve donanımına sahipti. 20. yüzyılın ortasında atom saatleri geliştirilinceye kadar durum böyle devam etti.

İnsan toplumu, üç doğal astronomik saate göre kendini düzenler: yıldızların gök kürede görünürde günlük yürüyüşleriyle saptanabilen ve bize bir günü veren Dünya'nın kendi etrafında dönüşü; yıl olarak bilinen ve gezegenimizin Güneş'in etrafında bir tur atması için geçen zaman ve Ay'ın bir aylık evreleri. Dünya'nın, Güneş'in ve Ay'ın uzayda bileşik devinimi, denizciler ve deniz kıyısında yaşayan topluluklar için çok önemli olan okyanus gelgitlerinin zamanını ve büyüklüğünü de belirler.

Astronomi navigasyonda da eşit ölçüde önemli bir rol oynadı; yıldızlar, denizde her yerden görülebilen (bulutlar izin verdikçe) referans noktası işlevi görüyordu. 1675'te Britanya kralı II. Charles, Londra'ya yakın Greenwich'te bir gözlemevini, Kraliyet Gözlemevini kurdurdu. Gözlemevinin müdürü, ilk Kraliyet Astronomu John Flamsteed'e verilen talimat, "navigasyon sanatını kusursuzlaştırmak için" gerekli gözlemleri yapmaya kendini adamaktı. Astronomi 1970'lerde navigasyonun temeli olmayı büyük ölçüde bıraktı ve yerini, küresel bir konum belirleme sistemi yaratan yapay uydular aldı.

Astronominin amacı

Astronomiyle ve uzay bilimiyle uğraşmanın pratik nedenleri değişmiş olsa da, bu bilimler hâlâ mevcuttur. Örneğin, uzayda gezegenimizin karşı karşıya olduğu riskleri değerlendirmek için astronomiye ihtiyaç vardır. Dünya'nın kırılganlığını, 1960'larda Apollo astronotlarının

> Bir keşif yaptığınızda keşfi tanıyacak hayal gücüne sahip olmalısınız.
> **Clyde Tombaugh**



uzaydan çektiği “Mavi Mermer” ve “Earthrise” gibi simgesel görüntülerden daha güçlü bir biçimde gösteren hiçbir şey yoktur. Bu fotoğraflar, Dünya'nın uzayda kendi halinde sürüklenen küçük bir gezegen olduğunu bize hatırlatıyor. Dünya yüzeyinin sakinleri olarak, atmosferin ve Dünya'nın manyetik alanının sağladığı koruma bize güvende olduğumuzu hissettirebilir; ama enerji yüklü parçacıkların ve ışınımın tahrip ettiği sert bir uzay çevresinin insafına kalmış durumdayız ve kayalarla çarpışma tehlikesiyle karşı karşıyayız. Bu çevreyi ne kadar çok tanırsak, potansiyel tehditlerle başa çıkmak için o kadar iyi donanımlı oluruz.

> Evren'in sonsuzluğunun ne kadar harika ve şaşırtıcı bir düzeni var.
> **Christiaan Huygens**

Evrensel bir laboratuvar

Astronomiyle uğraşmanın çok önemli bir nedeni daha vardır. Evren; maddenin, zamanın ve uzayın temel doğasının araştırıldığı büyük bir laboratuvardır. Akla sığmayacak kadar büyük zaman, mesafe ve büyüklük ölçekleri, çok aşırı yoğunluk, basınç ve ısı, Dünya'da kolayca canlandırabileceğimiz koşulların çok ötesindedir. Dünya'ya bağlı bir deneyde bir kara deliğin öngörülen özelliklerini sınamak ya da bir yıldız patladığında olanları izlemek olanaksızdır.

Astronomik gözlemler, Albert Einstein'ın genel görelilik teorisinin öngörülerini görkemli bir biçimde doğruladı. Einstein'ın teorisi, kendisinin de işaret ettiği gibi, Newton'un kütleçekim teorisinin yetersiz kaldığı noktada Merkür'ün yörüngesindeki görünür anormallikleri açıklıyordu. 1919'da Arthur Eddington bir tam Güneş tutulmasından yararlanıp, ışık Güneş'in kütleçekim alanından geçtiğinde, tıpkı göreliliğin öngördüğü gibi, yıldız ışığı yollarının düz bir çizgiden nasıl saptığını gözlemledi. Sonra 1979'da, gözlem hattı boyunca bir galaksinin varlığı nedeniyle bir kuasarın görüntüsünün iki katına çıktığı görülünce bir kütleçekimsel kırılmanın ilk örneği saptandı; yine göreliliğin öngördüğü gibi. En son 2015'te, uzayzamanın dokusunda iki kara deliğin kaynaşmasıyla meydana gelen dalgacıkların, kütleçekim dalgalarının ilk kez saptanmasıyla birlikte Einstein'ın teorisi bir kez daha doğrulandı.

Gözlem yapma zamanı

Bilim insanlarının düşünceleri sınamak ve yeni fenomenler aramak için kullandıkları ana yöntemlerden biri, deneyler tasarlamak ve bu deneyleri kontrollü laboratuvar koşullarında gerçekleştirmektir. Ne var ki, robotlarla deney yapılacak kadar yakın olan Güneş Sistemi hariç, astronomlar çok büyük ölçüde, Dünya'ya ulaşan temel parçacıkları ve ışınımı toplama pasif rolüne razı olmak zorundadırlar. Astronomların temel becerisi, neyin, nasıl ve ne zaman gözlemleneceğiyle ilgili bilinçli tercih yapmaktır. Örneğin, teleskobik veri toplama ve analizi yoluyla, galaksilerin dönüşü ölçülebildi. Bu da, hiç umulmadık bir biçimde, görünmez “kara madde”nin var olması gerektiğini keşfetmeye yol açtı. Bu şekilde, astronominin temel fiziğe katkısı çok büyük olmuştur.

Astronominin kapsamı

19. yüzyıla kadar astronomlar gök cisimlerinin yalnızca konumlarını ve hareketlerini gösterebiliyorlardı. Bu durum, Fransız filozof Auguste



Comte'un 1842'de, gezegenlerin ya da yıldızların bileşimini belirlemenin hiçbir zaman olanaklı olmayacağını ifade etmesine yol açtı. Yirmi yıl kadar sonra, yeni tayf analizi teknikleri, yıldızların ve gezegenlerin fiziksel doğasını araştırma olanağını sağlamaya başladı. Bu yeni alanı geleneksel astronomiden ayırt etmek için yeni bir sözcük icat edildi: astrofizik.

Astrofizik, 20. yüzyılda Evren'in incelenmesinde birçok uzmanlık alanından yalnızca biri oldu. Astrokimya ve astrobiyoloji, daha yakın zamanın uzmanlık alanlarıdır. Bunlar, bir bütün olarak Evren'in kökenini ve evrimini araştıran kozmolojinin ve astronominin özellikle Güneş Sistemindeki cisimlerin hareketiyle ilgilenen gök mekaniğinin parçalarını oluştururlar. "Gezegen bilimi" terimi, Dünya da dahil gezegen araştırmalarının her yanını kapsar. Güneş fiziği de önemli bir disiplindir.

Teknoloji ve yenilik

Gezegen olarak Dünya da dahil, uzaydaki her şeyle bağlantılı araştırmanın bu kadar çok dalı ortaya çıkınca, "astronomi" sözcüğünün anlamı da evrime uğrayıp, Evren araştırmalarının tamamını kapsayan kolektif bir ad oldu. Bununla birlikte, yakından bağlantılı bir konu, astronomi başlığı altına girmez: "uzay bilimi." Bu, 20. yüzyılın ortasında "uzay çağı"nın yerleşmesiyle filizlenen pratik uygulamaların ve teknolojinin bileşimidir.

Bilimin işbirliği

Güneş Sisteminin dünyalarını araştıracak her uzay teleskobu ve her görev, uzay biliminden yararlanır; bu yüzden onu bazen, astronomiden ayırmak zordur. Bu, diğer alanlarda, özellikle teknoloji ve matematik alanındaki gelişmelerin, astronomiyi ileri itmede ne kadar önemli olduğunun yalnızca bir örneğidir. Astronomlar, birkaç teknolojik ilerlemeyi belirtmek gerekirse, teleskoplardan, fotoğraftan, ışınımı saptamanın yeni yollarından, dijital hesaplama ve veri işlem yöntemlerinden yararlanmakta gecikmediler. Astronomi, "büyük bilim"in somut örneği ve büyük ölçekli işbirliğidir.

> Astronomi bir şey öğretirse, insanın, Evren'in evriminde bir ayrıntıdan başka bir şey olmadığını öğretir.
> **Percival Lowell**

Evren'deki yerimizi anlamak, kendimizi anlamamızın özüdür: yaşamı destekleyen bir gezegen olarak Dünya'nın oluşumu; Güneş Sistemini oluşturan kimyasal yapı taşlarının yaratılması ve bir bütün olarak Evren'in kökeni. Astronomi, bu büyük düşüncelerle başa çıkmanın aracıdır. ■

MİTTE
BİLİME

MÖ 600– MS 155

MÖ Y. 550

Miletoslu Anaksimandros, Evren'in **bilimsel açıklamasına** ilişkin ilk girişimlerden birini ortaya koyar.

MÖ Y. 530

Pisagor, Kroton'da kurduğu okulda cisimlerin **kusursuz daireler** çizerek hareket ettiği bir Evren düşüncesini geliştirir.

MÖ 350

Gökyüzü Üzerine'de **Aristoteles, Dünya-merkezli** bir Evren **modelinin** ana hatlarını çizer. Onun birçok düşüncesi 2000 yıl boyunca düşünmeye egemen olacaktır.

MÖ Y. 220

Samoslu Aristarkhos, Güneş-merkezli bir Evren **modeli** önerir ama düşüncesi kabul görmez.

MÖ Y. 200

İskenderiye'de **Eratosthenes Dünya'nın çevresini** ölçer ve Güneş'e uzaklığını hesaplar.

MS Y. 150

Ptolemaios, geniş kabul gören **Dünya-merkezli** bir Evren **modeli** ortaya koyan *Almagest*'i yazar.

Modern astronominin üzerinde yükseldiği gelenekler, Antik Yunan'da ve kolonilerinde başladı. Yakındaki Mezopotamya'da Babilliler, karmaşık aritmetik kullanarak göksel tahminlerde bulunma konusunda oldukça becerikli olmalarına rağmen, astronomileri mitolojiye dayanmaktaydı ve meşguliyetleri, kehanette bulunmakla ilgiliydi. Onlara göre gökyüzü, insanların rasyonel soruşturma kapsamının dışında, tanrılara ait bir âlemdi.

Yunanlar ise aksine, gökyüzünde gözlemlediklerini açıklamaya çalıştılar. Miletoslu Thales (MÖ Y. 624-Y. 546), doğada mantıksal muhakemeyle açığa çıkarılabilen değişmez ilkeler bulunduğunu düşünen filozofların ilki sayılır. İki yüzyıl sonra Aristoteles'in öne sürdüğü teorik düşünceler, 16. yüzyıla kadar astronominin temelini oluşturacaktı.

Aristoteles'in inançları

Aristoteles Platon'un öğrencisiydi ve ikisi de, doğal Dünya'nın "kaos"a karşıt olarak "kozmos" olduğuna inanan Pisagor ve takipçilerinin düşüncesinden etkilendi. Yani onlara göre doğal Dünya, anlaşılmaz değil rasyonel bir biçimde düzenlidir.

Aristoteles göksel dünyaların, insanın deneyim dünyasından farklı olarak, değişmez ve kusursuz olduklarını söyledi ve "sağduyu"yla tutarlı düşünceler öne sürdü. Bu, diğer şeylerin yanı sıra, Dünya'nın durağan ve Evren'in merkezi olduğu anlamına geliyordu. Aristoteles'in felsefesi tutarsızlıklar içermesine rağmen, bilim için en kabul edilebilir düşünce çerçevesi olarak benimsendi ve daha sonra Hıristiyan teolojiyle bütünleştirildi.

Geometrik düzen

Matematiksel olarak Yunan astronomisinin çoğu geometriye, özellikle en kusursuz şekil sayılan daireler içinde devinime dayanmaktaydı. Gezegenlerin konumlarını öngörmek için, dairesel devinimlerin birleştiği ayrıntılı geometrik şemalar yaratıldı. MS 150'de İskenderiye'de çalışan Yunan kökenli-Mısırlı astronom Ptolemaios, Yunan astronomisinin nihai külliyatını bir araya topladı. Ne var ki, MS 500'e gelindiğinde astronomiye Yunan yaklaşımı, hızını kaybetmişti. Aslında Ptolemaios'tan sonra neredeyse 1400 yıl boyunca, bu gelenekte astronomiyle ilgili anlamlı hiçbir yeni düşünce ortaya çıkmadı. Çin'de, Hindistan'da ve İslam dünyasında büyük kültür-

MS 499
Aryabhatiya'da Hint astronom **Aryabhata, Dünya döndüğü** için yıldızların gökyüzünde hareket ettiğini öne sürer.

1025
Arap bilgin **İbnü'l-Heysem, Ptolemaios'un Evren modelini** karmaşıklığından ötürü **eleştiren** bir eser çıkarır.

Y. 1180
İtalyan bilgin **Cremonalı Gerard**, Ptolemaios'un *Almagest*'i de dahil, Arapça metinleri Latinceye çevirerek Avrupa'nın hizmetine sunar.

1279
Çinli astronom **Guo Shoujing, Güneş yılının** süresini doğru bir biçimde ölçer.

1437
Moğol hükümdarı **Uluğ Bey**, *Almagest*'te bulunan **yıldız konumlarının** çoğunu düzeltir.

1543
Nicolaus Copernicus'un **Güneş-merkezli bir Evren'in** ana hatlarını çizen kitabı *De revolutionibus orbium coelestium*'u yayımlanır.

ler, Avrupa'da astronominin çok az ilerleme kaydettiği yüzyıllarda kendi geleneklerini bağımsız olarak geliştirdiler. Çinli, Arap ve Japon astronomlar ünlü Yengeç Bulutsusunu meydana getiren Boğa Takımyıldızında 1054 süpernova kaydetti. Venüs'ten daha parlak olmasına rağmen, Avrupa'da ona ilişkin hiçbir kayıt yoktur.

> Astronomun görevi, dikkatli ve uzman incelemeyle göksel devinimlerin tarihini hazırlamaktır.
> **Nicolaus Copernicus**

Öğrenmenin yaygınlaşması

Sonunda Yunan bilimi dolambaçlı bir yoldan Avrupa'ya geri döndü. MS 740'tan itibaren Bağdat, İslam dünyası için büyük bir öğrenim merkezi oldu. Ptolemaios'un külliyatı Arapçaya çevrildi ve Arapça başlığıyla, *Almagest* olarak tanındı. 12. yüzyılda Arapça birçok metin Latinceye çevrildi ve böylece, Müslüman bilginlerin yazılarının yanı sıra, Yunan filozofların mirası da Batı Avrupa'ya ulaştı.

15. yüzyılın ortasında matbaanın icadı, kitaplara erişimi kolaylaştırdı. 1473'te doğan Nicolaus Copernicus, ömrü boyunca kitap topladı; topladıkları arasında Ptolemaios'un eserleri de vardı. Copernicus'a göre Ptolemaios'un geometrik kurguları, ilk Yunan filozofların amacını gerçekleştiremedi: temelde yatan basit ilkeleri bularak doğayı açıklama amacı. Copernicus, Güneş-merkezli bir yöntemin çok daha basit bir sistem üretebileceğini sezgisel olarak biliyordu ama sonunda dairesel devinimi terk etmek istememesi, gerçek bir başarıyı engelledi. Yine de, astronomik düşüncenin temelinde fiziksel gerçeklik olması gerektiğine ilişkin mesajı çok önemli bir anda ortaya çıktı ve teleskobik devrime zemin hazırladı. ■



DÜNYANIN HAREKET ETMEDİĞİ BELLİDİR

YER-MERKEZLİ MODEL

KISACA

ASTRONOM
Aristoteles (MÖ 384–322)

ÖNCE
MÖ 465 Yunan filozof Empedokles, dört element olduğunu düşünür: toprak, su, hava ve ateş. Aristoteles, yıldızların ve gezegenlerin beşinci bir elementten, ether'den meydana geldiğini savunur.

MÖ 387 Platon'un öğrencisi Eudoksos, gezegenlerin dönen saydam kürelerde oturduklarını öne sürer.

SONRA
MÖ 355 Yunan düşünür Herakleides, gökyüzünün durağan olduğunu ve Dünya'nın kendi etrafında döndüğünü iddia eder.

12. yüzyıl İtalyan Katolik rahip Thomas Aquinas, Aristoteles'in teorilerini öğretmeye başlar.

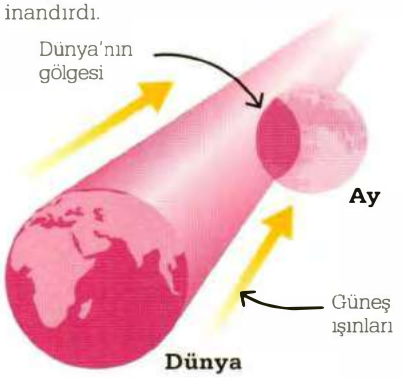
1577 Tycho Brahe Büyük Kuyrukluyıldızın Dünya'ya Ay'dan daha uzak olduğunu gösterir.

1687 Isaac Newton *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* adlı eserinde kuvveti açıklar.

Batılı filozofların en etkileyicilerinden biri olan Makedonyalı Aristoteles, Evren'in fiziksel yasalarca yönetildiğine inanıyordu. Bunu tümdengelimle, felsefeyle ve mantıkla açıklamaya çalıştı.

Aristoteles, yıldızların konumlarının birbirlerine göre bakıldığında sabit gibi göründükleri ve parlaklıklarının hiç değişmediği gözleminde bulundu. Takımyıldızlar hep aynı kalıyor ve her gün Dünya'nın etrafında dönüyordu. Ay, Güneş ve gezegenler de, Dünya'nın etrafında değişmeyen yörüngelerde hareket ediyor gibi görünüyorlardı. Devinimlerinin dairesel ve hızlarının sabit olduğuna inanıyordu.

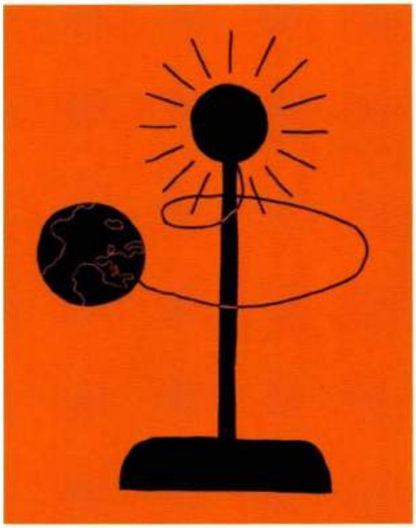
Ay tutulması sırasında Dünya, Ay'ın üzerine dairesel bir gölge düşürür. Bu durum, Aristoteles'i Dünya'nın bir küre olduğuna inandırdı.



Bir Ay tutulması sırasında Dünya'nın Ay yüzeyine düşen gölgesine ilişkin gözlemleri, onu Dünya'nın bir küre olduğuna inandırdı. Küresel bir Dünya'nın uzayda durağan kaldığı, asla dönmediği ya da konumunu değiştirmediği, kozmosun Dünya'nın etrafında ebediyen döndüğü sonucuna vardı. Dünya, Evren'in merkezinde hareket etmeyen bir nesneydi.

Aristoteles Dünya'nın atmosferinin de durağan olduğuna inanıyordu. Atmosferin üstünde, atmosferik gazlar ile yukarıda dönen gök arasında bir sürtünme gerçekleşiyordu. Volkanlardan aralıklı gaz çıkışları, atmosferin tepesine yükseliyordu. Sürtünmeyle tutuşan bu gazlar kuyruklu yıldızları, eğer çabuk tutuşursa kayan yıldızları meydana getiriyordu. Aristoteles'in akıl yürütmesi 16. yüzyıla kadar kabul gördü. ■

Ayrıca bakınız: Bilgiyi pekiştirme 24–25 ▪ Copernicus modeli 32–39 ▪ Tycho modeli 44–47 ▪ Kütleçekim teorisi 66–73



DÜNYA MERKEZİ GÜNEŞ OLAN BİR DAİRENİN ETRAFINDA DÖNER

İLK GÜNEŞ-MERKEZLİ MODEL

KISACA

ASTRONOM
Aristarkhos (MÖ 310–230)

ÖNCE
MÖ 430 Kratonlu Philolaos, Evren'in merkezinde büyük bir ateş olduğunu, Güneş'in, Ay'ın, Dünya'nın, beş gezegenin ve yıldızların onun etrafında döndüğünü öne sürer.

MÖ 350 Aristoteles, Dünya'nın Evren'in merkezinde olduğunu ve diğer her şeyin onun etrafında döndüğünü açıklar.

SONRA
MS 150 Ptolemaios, Dünya-merkezli (yer merkezli) bir Evren modeli tarif eden *Almagest*'i yayınlar.

1453 Nicolaus Copernicus, Güneş-merkezli bir Evren önerir.

1838 Alman astronom Friedrich Bessel paralaks olarak bilinen bir yöntem kullanarak bir yıldızın uzaklığını doğru ölçen ilk kişi olur.

Yunan adası Samoslu bir astronom ve matematikçi olan Aristarkhos, Evren'in merkezinde Dünya'nın değil Güneş'in bulunduğunu ve Dünya'nın Güneş'in etrafında döndüğünü öne sürdüğü bilinen ilk kişidir.

Aristarkhos'un bu konudaki düşüncesinden, başka bir Yunan matematikçinin, Arkhimedes'in bir kitabında söz edilir; *Kum Cetveli*'nde Aristarkhos'un "sabit yıldızlar ve Güneş hareketsiz kalır" ve "Dünya Güneş'in etrafında döner" diye bir varsayım formüle ettiğini belirtir.

Modaya uymayan düşünce

Aristarkhos, en az bir astronomu – MÖ ikinci yüzyılda yaşayan Seleukeialı Selevkos– Güneş-merkezli Evren görüşünün doğruluğuna ikna etti; ama onun dışında, düşünceleri fazla kabul görmemiş gibi görünüyor. Ptolemaios'un zamanında, MS 150 civarında, egemen görüş hâlâ yer-merkezliydi (Dünya-merkezli) ve 15. yüzyılda, Nicolaus Copernicus Güneş-merkezli bakış açısını canlandırana kadar öyle kaldı.

> Aristarkhos, Kopernikçi varsayımın gerçek mucidiydi.
> **Sir Thomas Heath**
> ***Matematikçi ve bilim insanı***

Aristarkhos, yıldızların daha önce hayal edilenden çok daha uzak olduklarına da inanıyordu. Güneş'in ve Ay'ın uzaklıklarını ve Dünya'ya göre büyüklüklerini hesapladı. Ay'la ilgili hesapları makul ölçüde doğruydu ama Güneş'in uzaklığını, esas olarak bir ölçümündeki yanlışlıktan ötürü eksik hesapladı. ■

Ayrıca bakınız: Yer merkezli model 20 ▪ Bilgiyi pekiştirme 24–25 ▪ Copernicus modeli 32–39 ▪ Yıldız paralaksı 102



EKİNOKSLAR ZAMANLA HAREKET EDER

DEĞİŞKEN YILDIZLAR

KISACA

ASTRONOM
Hipparkhos (MÖ 190–120)

ÖNCE
MÖ **280** Yunan astronom Timokharis, Başakçı yıldızının sonbahar ekinoksunun 8⁰ batısında olduğunu kaydeder.

SONRA
MS **4. yüzyıl** Çinli astronom Yu Xi yalpalamayı fark eder ve ölçer.

1543 Nicolaus Copernicus, yalpalamayı Dünya'nın ekseninin bir devinimi olarak açıklar.

1687 Isaac Newton yalpalamanın kütleçekimin bir sonucu olduğunu kanıtlar.

1718 Edmond Halley, gök kürede referans noktaları ile yıldızlar arasındaki göreli devinimden ayrı olarak, yıldızların birbirlerine göre kademeli bir devinime sahip olduklarını keşfeder. Bunun nedeni, farklı yönlerde ve farklı hızlarda hareket ediyor olmalarıdır.

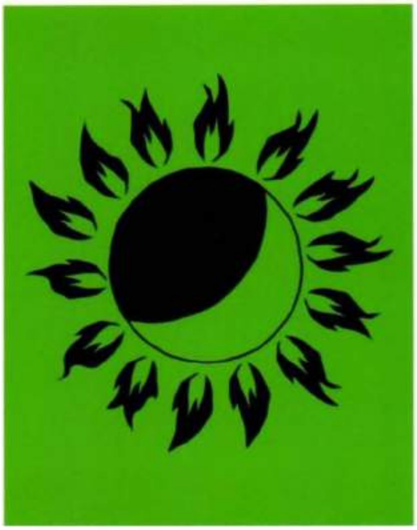
MÖ 130 civarında Yunan astronom ve matematikçi İznikli Hipparkhos, Başakçı denilen bir yıldızın, gök kürede sonbahar ekinoksu denilen bir noktanın, 150 yıl önce kaydedilen konumuna göre 2⁰ doğusuna hareket etmiş olduğunu fark etti. Yaptığı daha ileri araştırmalar, bütün yıldızların konumunun değiştiğini gösterdi. Bu kayma, "ekinoksların yalpalaması" olarak anılır oldu.

Gökküre Dünya'nın etrafını saran, yıldızların özgül noktalarda bulunduğu hayali bir küredir. Astronomlar, yıldızların ve diğer gök nesnelerinin konumlarını tarif etmek için referans noktaları olarak bu kürenin yüzeyinde kesin tanımlanmış noktaları ve eğrileri kullanırlar. Kürenin kuzey ve güney kutupları ile bir gök ekvatoru vardır; gök ekvatoru, Dünya'nın ekvatorunun yukarısında bulunan bir dairedir. Tutulma dairesi (ekliptik), kürenin üzerinde bir yıl içinde arka planda yıldızlar olmak üzere Güneş'in yolunu izleyen başka bir önemli dairedir. Tutulma dairesi iki noktada gök ekvatoruyla kesişir: ilkbahar ve sonbahar ekinoks noktaları. Bunlar, Güneş'in mart ve eylül aylarında ekinokslarda ulaştığı gökküredeki konumlardır. Ekinoksların yalpalaması, bu iki noktanın yıldız konumlarına göre kademeli sürüklenmesine işaret eder.

> Çalışkan ve büyük bir hakikat aşığı.
> **Ptolemaios**
> ***Hipparkhos'u tarif ediyor***

Hipparkhos bu yalpalamayı, gerçek olduğuna ve Dünya'nın etrafında döndüğüne inandığı gökkürenin hareketinde bir "sendeleme"ye bağlar. Şimdi sendelemenin, Dünya'nın dönüş ekseninin yöneliminde olduğu, Güneş'in ve Ay'ın kütleçekim etkisinden kaynaklandığı biliniyor. ■

Ayrıca bakınız: Kütleçekim teorisi 66–73 ▪ Halley kuyrukluyıldızı 74–77



AYIN PARLAKLIĞINI, GÜNEŞİN IŞINIMI ÜRETİR

AYLA İLGİLİ TEORİLER

KISACA

ASTRONOM
Zhang Heng (MS 78–139)

ÖNCE

MÖ 140 Hipparkhos tutulmaları öngörmenin yollarını keşfeder.

MÖ 1. yüzyıl Jing Fang, Ay'ın ışığının Güneş'in yansıyan ışığı olduğunu ifade eden "ışıma etkisi" teorisini öne sürer.

SONRA

MS 150 Ptolemaios, gök cisimlerinin konumlarını hesaplama cetvellerini hazırlar.

11. yüzyıl Shen Kuo'nun *Dream Pool Essays* kitabı, gök cisimlerinin düz değil, top gibi yuvarlık olduklarını açıklar.

1543 Nicolaus Copernicus'un *On the Revolutions of the Celestial Spheres* kitabı, Güneş-merkezli bir sistemi tarif eder.

1609 Johannes Kepler, serbest yüzen cisimler olarak gezegenlerin hareketlerini açıklar, elipsleri tarif eder.

Çin imparatoru An-ti'nin sarayında baş astrolog olan Zhang Heng, becerikli bir matematikçi ve dikkatli bir gözlemciydi. 2500 "parlak ışıltılı" yıldız katalogladı ve 11.520 "çok küçük" yıldız olduğunu hesapladı.

Aynı zamanda seçkin bir şair olan Zhang astronomik düşüncelerini mecazla ve teşbihle ifade etti. *Ling Xian* ya da *Evren'in Ruhsal Yapısı* adlı incelemesinde Dünya'yı kozmosun merkezine yerleştirdi ve "gök bir tavuk yumurtasına benzer ve bir tatar yayı güllesi kadar yuvarlaktır; Dünya yumurta sarısıdır, merkezde tek başına duruyor" dedi.

> Güneş ateş gibidir; Ay su gibidir. Ateş ışık verir, su ışığı yansıtır.
> **Zhang Heng**

Şekli var ama ışığı yok

Zhang, Ay'ın kendine ait ışığı olmadığı, "su gibi" Güneş'i yansıttığı sonucuna vardı. Bu konuda, yüzyıl önce "Ay ve gezegenler Yin'dir; şekilleri vardır ama ışıkları yoktur" diyen yurttaşı Jing Fang'ın teorilerini benimsedi. Zhang, "Güneş'e bakan tarafın tamamen aydınlık ve Güneş'ten uzak olan tarafın karanlık" olduğunu gördü. Dünya araya girdiği için Güneş'in ışığının Ay'a ulaşamadığı bir Ay tutulmasını da tarif etti. Benzer şekilde başka gezegenlerin de tutulma yaşadığını fark etti.

Başka bir Çinli astronom, Shen Kuo 11. yüzyılda Zhang'ın çalışmalarını ilerletti. Shen, Ay'ın büyümesinin ve küçülmesinin, Ay ve Güneş'in küresel olduğunu kanıtladığını gösterdi. ■

Ayrıca bakınız: Copernicus modeli 32–39 ■ Eliptik yörüngeler 50–55



GÖKSEL ŞEYLER TEORİSİNE YARARLI HER ŞEY

BİLGİYİ PEKİŞTİRME

KISACA

ASTRONOM
Ptolemaios (MS 85–165)

ÖNCE
MÖ 12. yüzyıl Babilliler, yıldızları takımyıldızlar şeklinde düzenler.

MÖ 350 Aristoteles yıldızların yerlerinde sabit olduklarını ve Dünya'nın durağan olduğunu iddia eder.

MÖ 135 Hipparkhos, 850'den fazla yıldız konumunu ve parlaklığını içeren bir katalog çıkarır.

SONRA
MS 964 İranlı astronom es-Sufi, Ptolemaios'un yıldız kataloğunu günceller.

1252 İspanya, Toledo'da Alfonso Cetvelleri yayımlanır. Bunlar, Ptolemaios'un teorilerine dayanarak Güneş'in, Ay'ın ve gezegenlerin konumlarını listeler.

1543 Copernicus, kozmosun merkezinde Dünya değil de Güneş olursa, gezegenlerin hareketlerini öngörmenin çok daha kolay olduğunu gösterir.



Bu 17. yüzyıl yıldız haritasında Ptolemaios'un tasarladığı takımyıldızlar kullanılıyor. Takımyıldız başına yıldız sayısı ikiden (Küçükköpek) 42'ye (Kova) kadar değişiyor.

Yunan kökenli-Mısırlı astronom Ptolemaios, bilinen en büyük eseri *Almagest*'te, kendi zamanının bütün astronomik bilgisinin bir özetini çıkardı. Kendine ait radikal yeni düşünceler üretmek yerine, daha önceki bilgiyi, özellikle *Almagest*'teki pek çok hesaplamanın temelini oluşturan yıldız kataloğunun sahibi Yunan astronom Hipparkhos'un eserlerini pekiştirdi ve onların üzerinde yükseldi. Ptolemaios, gezegenlerin gelecekteki konumlarını hesaplamak için gerekli matematiği de ayrıntılandırdı. Sistemi, astrologlar tarafından kuşaklar boyunca kullanılacaktı.

Ptolemaios'un Güneş Sisteminin merkezinde durağan bir Dünya vardır ve gökyüzü günlük olarak onun etrafında döner. Modeli verilere uygun hale getirmek ve gezegenlerin konumlarının hesaplanmasında kullanmak için karışık eklemeler yapmak gerekiyordu; yine de 16. yüzyılda Copernicus kozmosun merkezine Güneş'i yerleştirinceye

Ayrıca bakınız: Yer merkezli model 20 ▪ Değişken yıldızlar 22 ▪ Copernicus modeli 32–39 ▪ Tycho modeli 44–47 ▪ Eliptik yörüngeler 50–55

kadar büyük ölçüde itirazla karşılaşmadı.

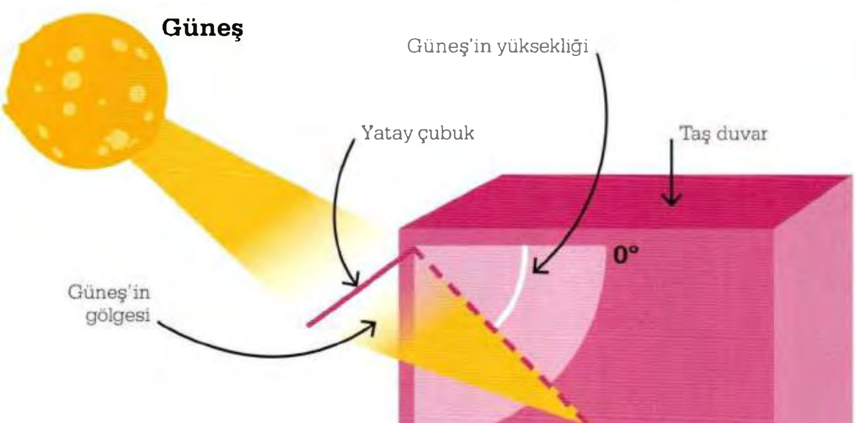
Ptolemaios 1022 yıldız konumunu içeren bir katalog çıkardı ve gökkürenin Yunanlarca bilinen bölümünde 48 takımyıldız sıraladı; 32^0 kuzey enleminden görülebilen her şey. İkizler (Gemini), Yengeç (Cancer), Aslan (Leo), Akrep (Scorpio) ve Boğa (Taurus) takımyıldızları da dahil, birçoğunun adı eski Babillilere kadar geri götürülebilir. Babil takımyıldızlarının adları, MÖ 7. yüzyıla dayanan ve *Mul Apin* denilen bir çiviyazısı tablette sıralanır; ama 300 yıl kadar önce hazırlanmış oldukları sanılmaktadır.

İlk kuadrant

Ptolemaios ölçümlerini iyileştirmek için bir duvar yaptı. Kuadrantın en eski örneklerinden biri olan bu duvar, büyük bir dörtgen taş bloktu; dikey kenarlarından biri, kuzey-güney düzleminde doğru hizalıdır. Taşın tepesinden çıkan yatay bir çubuk ve gölgesi, öğlen vakti Güneş'in yüksekliğinin kesin bir ölçüm değerini verir. Ptolemaios gündönümü ve ekinoks zamanını doğru tespit etmek için günlük ölçümler yaptı; tespitleri, mevsimlerin farklı uzunlukta olduklarını gösteren önceki ölçümleri doğruladı. Güneş'in Dünya'nın etrafındaki yörüngesinin dairesel olduğuna inanıyordu ama hesaplamaları, onu, Dünya'nın bu yörüngenin tam merkezinde olamayacağı sonucuna götürdü.

Astrolog Ptolemaios

Kendi zamanının pek çok düşünürü gibi Ptolemaios da, gök cisimlerinin hareketlerinin Dünya'daki olayları köklü bir biçimde etkilediğine inanıyordu. Astroloji üzerine kitabı *Tetrabiblos*, izleyen 1000 yıl boyunca popülerlik bakımından *Almagest*'le yarıştı. Ptolemaios yalnızca gezegen konumlarını hesaplama aracı sunmakla kalmamış, bu hareketlerin insanları nasıl etkilediğine ilişkin kapsamlı bir yorum da üretmişti. ■



Ptolemaios taş kaidenin tasarımını *Almagest*'te tarif eder. 0^0 ile 90^0 arasındaki açıları ölçen bir aletti –kuadrant.



Ptolemaios

Ptolemaios her konuda bilgi sahibiydi ve astronomi, astroloji, coğrafya, müzik, optik ve matematik gibi çok çeşitli konularda eserler üretti.

Hakkında çok az şey biliniyor ama büyük olasılıkla yaşamının tümünü, büyük bir kütüphanesiyle ve bilimiyle ünlü Mısır liman kenti İskenderiye'de geçirdi; orada ünlü matematikçi İzmirli Theon'dan ders aldı. Yazdıklarının çoğu günümüze ulaşmıştır. Arapçaya ve Latinceye çevrildiler; düşünceleri ortaçağ dünyasının tamamına yayıldı. *Coğrafya* kitabı, bilinen Dünya'nın pek çok yerini listeliyordu ve 15. yüzyılda Christopher Columbus keşif gezilerinde yanında taşıdı. *Almagest*, 1643'e kadar, Ptolemaios'un Evren modeline Copernicus meydan okuduktan bir yüzyıl sonrasına kadar akademide kullanımda kaldı.

Önemli eserleri

Y. MS 150 *Coğrafya*
Y. MS.150 *Almagest*
Y. MS.150 *Tetrabiblos*



HAREKET ETMEYEN YILDIZLAR TEKDÜZE BATIYA DOĞRU GİDER

DÜNYA'NIN DÖNÜŞÜ

KISACA

ASTRONOM
Aryabhata (MS 476–550)

ÖNCE
MÖ 350 Platon'un öğrencisi Herakleides Pontikos, Dünya'nın günde bir kez kendi ekseni etrafında döndüğünü öne sürer. Daha yetkin sayılan Aristoteles'le çeliştiği için, bu düşünce yaygınlaşmaz.

MÖ 4. yüzyıl Aristoteles, Dünya'nın uzayda durağan olduğunu açıklar.

SONRA
MS 950 İranlı astronom es-Siczi, Dünya'nın döndüğü düşüncesini destekler.

1543 Nicolaus Copernicus Dünya'nın, Güneş-merkezli Evren modelinin bir parçası olarak döndüğünü açıklar.

1851 Léon Foucault'nun sarkacının Paris'teki ilk gösterimi, Dünya'nın döndüğünün ilk bilimsel kanıtını sunar.

MÖ 4. yüzyıldan 16. yüzyıla kadar Batı dünyasında, Dünya'nın durağan ve Evren'in merkezinde olduğu görüşü egemendi. Dünya'nın dönüyor olabileceğine ilişkin öneriler, Dünya'nın yüzeyinde bulunan nesnelerin uzaya uçuşmasına neden olacağı gerekçesiyle önemsenmedi. Ne var ki, Hindistan'da Aryabhata adlı bir astronom, geceleyin gökyüzünde yıldızların hareketinin, uzak bir kürede yıldızların Dünya'nın etrafında dönmesinden değil, bizzat Dünya'nın dönmesinden kaynaklandığına inanıyordu.

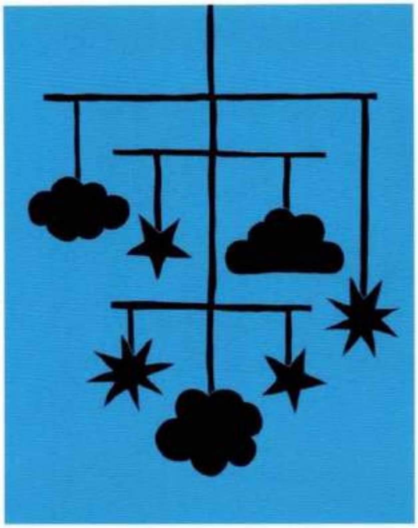
> Aryabhata gezegenlerin gerçek konumlarını ve uzaklıklarını daha doğru belirleyen döngüsel Hint astronomisinin babasıydı.
>
> **Helaine Selin**
> ***Astronomi tarihçisi***

Yanıltıcı bir hareket

Aryabhata'ya göre yıldızlar durağandı ve görünürde batıya doğru hareketleri bir yanılsamaydı. Dönen Dünya fikri, 17. yüzyıl ortasına kadar –Nicolaus Copernicus'un bu düşünceyi onaylamasından bir yüzyıl sonrasına kadar– fazla kabul görmedi. Aryabhata'nın başarıları önemliydi. *Aryabhatiya* kitabı 6. yüzyılda en önemli astronomi eseriydi. Özünde astronominin ve ilgili matematiğin temellerine ilişkin bir özet olan kitap, Arap astronomisini büyük ölçüde etkiledi.

Aryabhata, diğer başarıların yanı sıra, yıldız gününün uzunluğunu (Dünya'nın yıldızlara göre tam bir dönüş yaptığı süre) yüksek bir doğruluk derecesiyle hesapladı ve astronomik cetveller hazırlamanın özgün ve doğru yollarını geliştirdi. ■

Ayrıca bakınız: Yer merkezli model 20 ■ Copernicus modeli 32–39 ■ Tycho modeli 44–47 ■ Eliptik yörüngeler 50–55



GECE GÖKYÜZÜNDE KÜÇÜK BİR BULUT

GALAKSİLERİ EŞLEME

KISACA

ASTRONOM
Abdurrahman es-Sufi
(MS 903–986)

ÖNCE
MÖ 400 Demokritos, Samanyolu'nun yoğun bir yıldız kütlesinden oluştuğunu öne sürer.

MS 150 Ptolemaios *Almagest*'te birkaç bulutsu (ya da nebula) kaydeder.

SONRA
1610 Galileo bir teleskop kullanarak Samanyolu'ndaki yıldızları görüp, Demokritos'un teorisini doğrular.

1845 Lord Rosse, şimdi Girdap Galaksisi olarak bilinen bir sarmal bulutsunun ilk net gözlemini yapar.

1917 Vesto Slipher, sarmal bulutsunun Samanyolu'ndan bağımsız döndüğünü keşfeder.

1929 Edwin Hubble, birçok sarmal bulutsunun Samanyolu'nun çok ötesinde ve kendi başına galaksi olduklarını gösterir.

Eskiden Batı'da Azophi olarak tanınan Abdurrahman es-Sufi, bugün galaksi oldukları anlaşılan şeylerin ilk kaydını yapan İranlı bir astronomdu. Es-Sufi'ye göre bu puslu, bulanık nesneler, gece gökyüzünde bulut gibi görünüyorlardı.

Es-Sufi gözlemlerinin çoğunu İsfahan'da ve Şiraz'da yaptı ama doğuyu ve güneyi dolaşan, daha fazla gökyüzü gören Arap tüccarlara da danıştı. Çalışmaları, Ptolemaios'un *Almagest*'ini Arapçaya çevirmeye odaklıydı. Süreç içinde es-Sufi, Helenistik takımyıldızları (bugün yıldız haritalarına egemen olan), çoğu tamamen farklı olan Arap benzerleriyle kaynaştırmaya çalıştı.



Büyük Macellan Bulutu, güney yarımkürede çıplak gözle kolayca gözlemlenebilir.

Bu emeğin meyvesi, MS 964'te yayımlanan *Kitâbü Suveri'l-kevâkibi's-sâbite* ya da *Sabit Yıldızlar Kitabı*'ydı. Kitapta, şimdi Andromeda Galaksisi olarak bilinen "küçük bir bulut"un bir çizimi vardı. Bu nesne olasılıkla daha önceki İranlı astronomlarca da biliniyordu ama es-Sufi'ninki en eski kayıttır. Benzer şekilde, *Sabit Yıldızlar Kitabı*'nda bir bulutsu nesne daha, Beyaz Öküz vardı. Buna şimdi Büyük Macellan Bulutu deniliyor ve Samanyolu yörüngesinde küçük bir galaksidir. Es-Sufi bu nesneyi kendisi gözlemleyemezdi ama Yemen'deki astronomlardan ve Umman Denizini geçen denizcilerden bilgi almıştı. ■

Ayrıca bakınız: Bilgiyi pekiştirme 24–25 ▪ Bulutsuları inceleme 104–05 ▪ Sarmal galaksiler 156–61 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172–77



ÇİN İÇİN YENİ BİR TAKVİM

GÜNEŞ YILI

KISA

ASTRONOM
Guo Shoujing (1231–1314)

ÖNCE
MÖ 100 Han Hanedanından İmparator Wu, Güneş yılını temel alan Çin takvimini kabul eder.

MÖ 46 Julius Caesar, 365 gün 6 saatlik bir yıl kullanan Roma takvimini düzeltir ve her dört yılda bir artık bir gün ekler.

SONRA
1437 Timurlu hükümdarı astronom Uluğ Bey, 50 metrelik bir Güneş saati mili kullanarak Güneş yılını 365 gün, 5 saat, 49 dakika 15 saniye olarak ölçer.

1582 Papa Gregorius, 365,25 günlük bir yıl kullanarak – Guo'nun Shoushi takvimiyle aynı yıl– eski Julius takvimini düzelten Gregoryen takvimi benimser.

Geleneksel Çin takvimi, Güneş ve Ay çevrimlerinin karmaşık bir karışımıdır; Güneş-kaynaklı mevsimlere karşılık gelen 12 ya da 13 kameri ay vardır. İlk kez MÖ 1. yüzyılda, Han Hanedanı döneminde resmileştirilmişti ve 365,25 günlük (365 gün 6 saat) bir Güneş yılı kullanıyordu. Çin'in hesaplamaları, Batı'dan ilerideydi: 50 yıl sonra Julius Caeasar aynı periyodu kullanıp, Roma İmparatorluğu'nun Julius (Jülyen) sistemini yarattı.



Eğitimli bir mühendis olan Guo Shoujing, gök cisimlerinin konumlarını modellemek için kullanılan bir alet olan çemberli kürenin suyla çalışan bir versiyonunu icat etti.

Moğol önderi Kubilay Han 1276'da Çin'in çok büyük bölümünü fethettiği sırada, ilk takvimin bir çeşidi, Daming takvimi, kullanılıyordu ama çok eskiydi ve düzeltilmesi gerekiyordu. Kubilay Han, Shoushi ("iyi düzenli") takvimi olarak bilinen yeni, daha doğru bir takvimle otoritesini kabul ettirmeye karar verdi. Bu takvimi yaratma görevi, Kubilay'ın Çinli baş astronom Guo Shoujing'e verildi.

Yılı ölçmek

Guo'nun işi, Güneş yılının süresini ölçmekti ve bunun için, bir gün Beijing (Pekin) olarak anılacak yeni imparatorluk başkenti Hanbalık'ta ("Han'ın Kenti") bir gözlemevi kurdu. Gözlemevi, o sırada Dünya'daki en büyük gözlemevi olabilir.

Matematikçi Wang Chun'la birlikte çalışan Guo, yıl boyunca Güneş'in devinimini izleyen bir dizi gözlem yapmaya başladı.

İkisi Çin'i dolaşıp 26 gözlemevi daha kurdu. 1279'da bir ayın 29, 530593 gün ve gerçek Güneş yılının 365,2524 gün (365 gün, 5 saat,

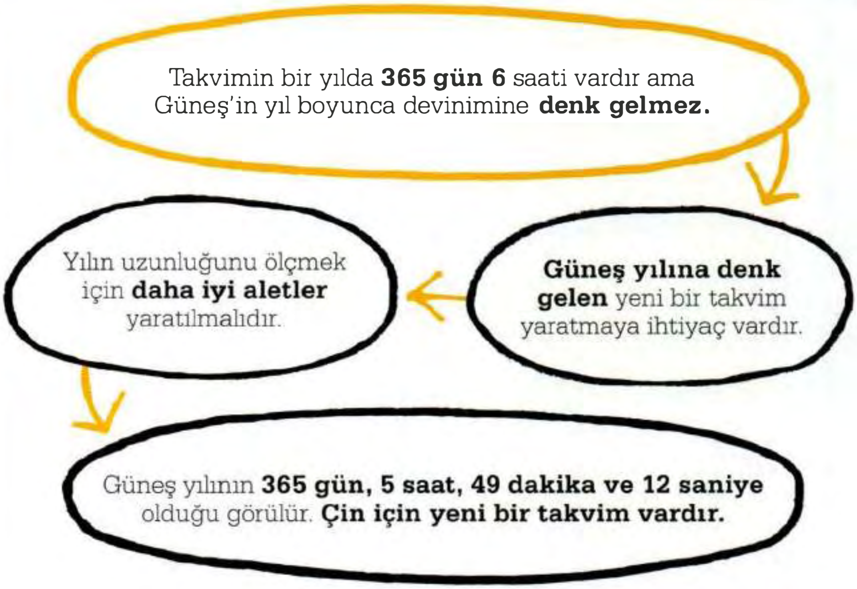
Ayrıca bakınız: Değişken yıldızlar 22 ▪ Gelişmiş aletler 30–31 ▪ Zu Chongzhi (Rehber) 334

49 dakika ve 12 saniye) olduğunu ilan ettiler. Bu rakam, bugün kabul edilen ölçüden yalnızca 26 saniye daha uzundur. Yine Çin, Batı'nın ilerisindeydi. Aynı rakam, Avrupa'da ancak 300 yıl sonra bağımsız bir biçimde ölçüldü ve Evrensel Gregoryen takvim için benimsendi.

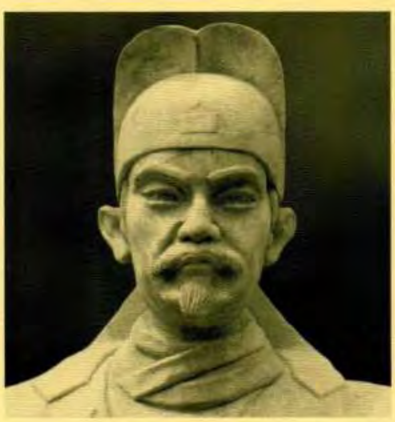
Dayanıklı takvim

Büyük bir teknolojik yenilikçi olan Guo, birçok yeni gözlem aygıtı icat etti ve Kubilay Han yönetiminde Çin'e gelmeye başlayan İran donanımını güçlendirdi. En önemlisi, daha önceki İran tasarımından beş kat daha uzun olan ve ölçü işaretli yatay bir çubuğu bulunan 13,3 metre yüksekliğinde dev bir Güneş saati mili inşa etti. Bu aygıt, Guo'nun Güneş'in açısını daha doğru ölçmesine olanak sağladı.

Shoushi takvimi, o sırada dünyadaki en doğru takvim olarak görüldü. Başarısının bir tanığı olarak, 363 yıl boyunca kullanılmaya devam edildi ve Çin tarihinde en uzun süre kullanılan resmi takvim oldu. Çin, Gregoryen takvimi resmi olarak 1912'de kabul etti ama bugün yerel ya da eski takvim olarak bilinen geleneksel takvim Çin kültüründe hâlâ bir rol oynar ve düğünler, aile kutlamaları ve resmi tatiller için en uğurlu tarihleri belirler. ■



Guo Shoujing



Guo Shoujing, Çin'in kuzeyinde, Moğolların bölge üzerindeki denetimlerini pekiştirmekte olduğu yıllarda yoksul bir ailede dünyaya geldi. 14 yaşında oldukça ileri bir su saati yapan dâhi çocuk Guo, dedesinden matematik, astronomi ve hidrolik öğrendi. İmparatorun baş mimarı Liu Bingzhong'un yanında çalışan bir mühendis oldu. 1250'lerin sonunda Kubilay Han tahtı ele geçirdi ve şimdi Beijing olarak bilinen yeni başkent Hanbalık'ı inşa etmek için, Sarı Irmak'a yakın Dadu kasabasının etrafındaki bölgeyi tercih etti. Guo, yeni kente dağlardan kaynak suyu getirecek bir kanal inşa etmekle görevlendirildi. 1290'larda, o sırada Han'ın baş bilim ve mühendislik danışmanı olan Guo, Hanbalık'ı, Yangtze ve diğer büyük ırmakları birbirine bağlayan eski Büyük Kanal sistemiyle birleştirdi. Guo, astronomik çalışmalarını sürdürmenin yanı sıra, bütün Çin'de benzer sulama ve kanal projelerinin denetimini de üstlendi; teorik ve teknolojik yenilikleri, öldükten sonra yüzyıllar boyunca Çin toplumunu etkilemeye devam etti.



PTOLEMAİOS'UN KATALOĞUNDAKİ BÜTÜN YILDIZLARI YENİDEN GÖZLEMLEDİK

GELİŞMİŞ ALETLER

KISACA

ASTRONOM
Uluğ Bey (1384–1449)

ÖNCE

MÖ Y. 130 Hipparkhos, 850'den fazla yıldızın konumunu veren bir yıldız kataloğu yayımlar.

MS 150 Ptolemaios, Hipparkhos'un çalışmalarını geliştiren ve bin yıldan fazla bir süre boyunca belirleyici astronomi rehberi olarak görülen *Almagest*'te bir yıldız kataloğu yayımlar.

MS 964 Abdurrahman es-Sufi, kendi yıldız kataloğunda galaksilere ilk göndermeleri yapar.

SONRA

1543 Nicolaus Copernicus Dünya'yı değil, Güneş'i Evren'in merkezine yerleştirir.

1577 Tycho Brahe'nin yıldız kataloğu, "sabit yıldızlar"ın ebedi olmadıklarını ve değiştiklerini gösteren bir nova kaydeder.

Ptolemaios'un *Almagest*'i 1000 yıldan fazla bir süre boyunca, yıldız konumları konusunda dünyanın standart otoritesiydi. Ptolemaios'un Arapçaya çevrilen eseri *Almagest*, 15. yüzyılda Moğol hükümdar Uluğ Bey bir yığın verisinin yanlış olduğunu gösterene kadar İslam dünyasında da etkili oldu.

Moğol fatih Timur'un torunu olan Uluğ Bey, 1409'da ailenin ata toprağı Semerkant'ın yöneticisi olduğunda daha 16 yaşındaydı. Kenti saygın bir öğrenim yerine dönüştürmeye kararlı olan Uluğ Bey, dünyanın dört bir yanında birçok disiplinden bilgini yeni medresesinde çalışmaya davet etti.

Uluğ Bey'in kendi ilgi alanı astronomiydi ve *Almagest*'in yıldız konumlarında ciddi yanlışlar bulması, o sırada dünyanın en büyük gözlemevini inşa etmesine ilham vermiş olabilir. Kentin kuzeyinde bir tepenin üzerinde bulunan gözlemevinin yapımı beş yıl sürdü ve 1429'da tamamlandı. Astronomlardan ve matematikçilerden oluşan ekibiyle birlikte, orada yeni bir yıldız kataloğu hazırlamaya koyuldu.

Uluğ Bey

Sultan-astronom Uluğ Bey'in gerçek adı Mirza Muhammed Taragay bin Şahruh'tu. Timur'un ordusu İran'dan geçerken yolda doğdu. Dedesinin 1405'te ölümü, ordunun Batı Çin'de durmasına neden oldu. Timur'un topraklarının kontrolü için çıkan savaşı, Uluğ Bey'in babası Şah Ruh kazandı. 1409'da Uluğ Bey, babasının vekili olarak Semerkant'a gönderildi ve 1411'de 18 yaşına basınca, kent üzerindeki hâkimiyeti çevre bölgeyi de kapsayacak şekilde genişledi. Uluğ Bey'in liderlik becerileri, matematik ve astronomi yeteneklerine denk değildi. Şah Ruh 1447'de ölünce Uluğ Bey imparatorluk tahtını devraldı ama elinde tutmak için gerekli otoriteyi kuramadı. 1449'da kendi oğlu tarafından kafası kesilerek öldürüldü.

Önemli Eserleri

1437 *Zij-i Sultani*

Ayrıca bakınız: Değişken yıldızlar 22 ▪ Bilgiyi pekiştirme 24–25 ▪ Galaksileri eşleme 27 ▪ Copernicus modeli 32–39 ▪ Tycho modeli 44–47

Astronomiyi **anlamak, geçmişin bilginlerinin** eserlerini incelemeye dayanır.

↓

Korunaklı bir yerde hassas inşa edilmiş bir **sekstant, daha doğru** ölçümler verir.

→

Daha iyi aletlerle birlikte, **geçmişteki astronomların eserlerinde** genellikle **yanlışlar olduğu** görülür.

Devasa aletler

Ptolemaios'un kataloğu büyük ölçüde Hipparkhos'un eserinde türetilmişti ve yıldız konumlarının çoğu yeni gözlemlere dayanmıyordu.

Uluğ Bey doğru ölçüm yapmak için çok büyük ölçekli bir gözlemevi inşa etti. En etkileyici aleti Fahri denilen sekstanttı. Aslında daha çok bir kuadranta (altıda bir değil çeyrek daire) benzeyen aletin yarıçapının 40 metreden fazla ve yüksekliğinin üç kat olduğu tahmin edilmektedir. Aleti depremlerden korumak için yer altında tutuldu ve kuzey-güney boylamı boyunca kavisli bir hendeğe oturtuldu. Yukarıdan Güneş ve Ay geçince, ışıkları karanlık hendeğin içine düşüyordu ve konumları, bir derecenin yaklaşık yüzde birine kadar ölçülebiliyordu.

1437'de *Zic-i Sultani* (*Sultanın Yıldız Kataloğu*) yayımlandı. Uluğ Bey, *Almagest*'te bulunan 1022 yıldızdan 922'sinin konumunu düzeltti. *Zic-i Sultani*'de Güneş yılına, gezegen devinimine ve Dünya'nın eksen eğikliğine ilişkin yeni ölçümler de vardı. Bu veriler çok önemli oldu ve tutulmaları, Güneş'in doğuş ve batış zamanını ve navigasyon için gerekli olan gök cisimlerinin yüksekliğini öngörmeyi olanaklı kıldı. Uluğ Bey'in eseri, yaklaşık 200 yıl sonra Tycho Brahe'ye kadar, tam ve eksiksiz yıldız kataloğu olarak kabul edildi. ■

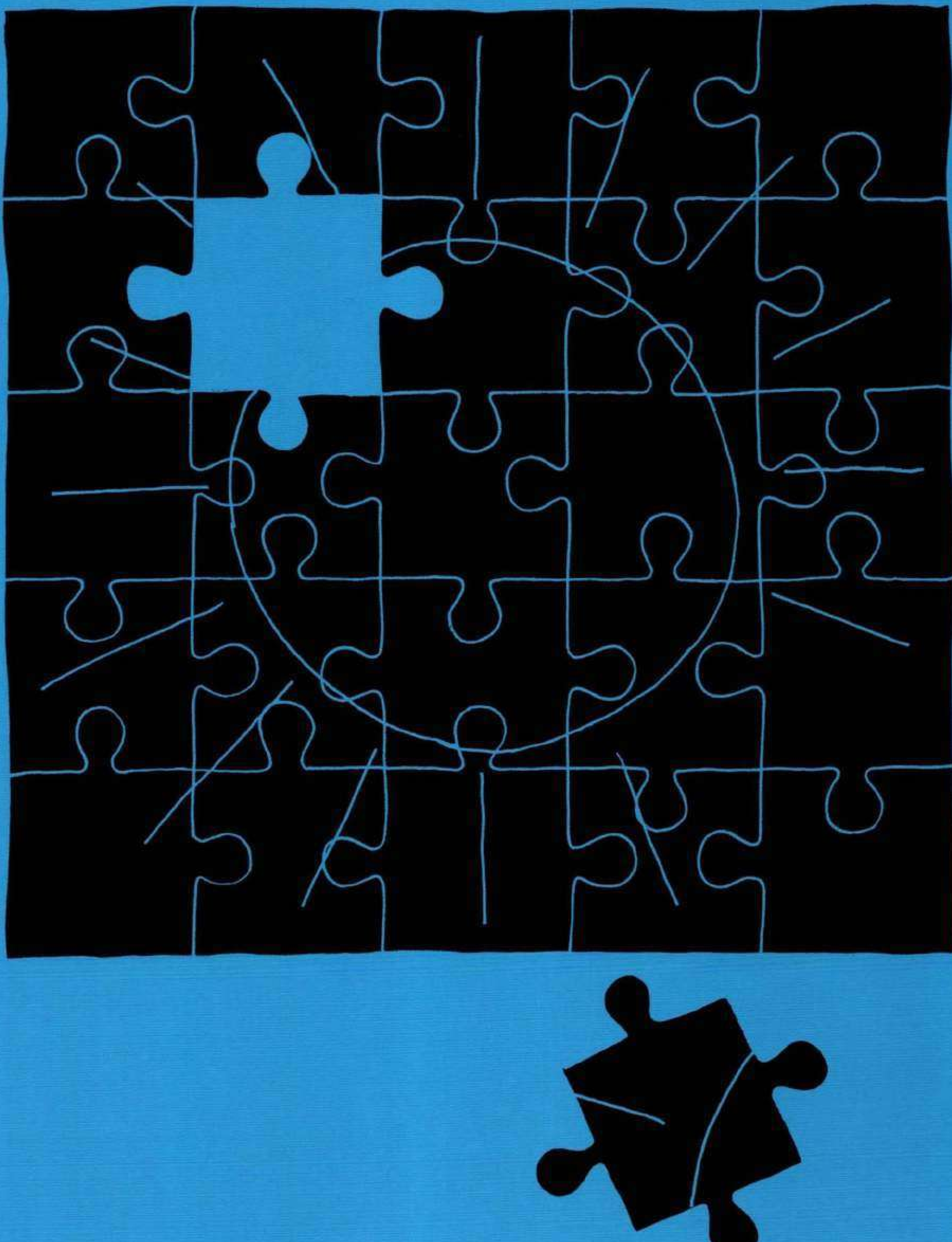
> “Dinler dağılır, krallıklar parçalanır ama bilim eserleri bütün çağlarda varlığını sürdürür.”
> **Uluğ Bey**



Fahri sekstantından, yalnızca bir tepenin yamacına kazılan 2 metre genişliğinde bir hendek geriye kalmıştır. Gözlemevi Uluğ Bey'in 1449'da ölümünden sonra yıkıldı ve ancak 1908'de keşfedildi.

SONUNDA GÜNEŞ'İ EVREN'İN MERKEZİNE YERLEŞTİRECEĞİZ

COPERNICUS MODELİ



KISACA

ASTRONOM
Nicolaus Copernicus
(1473–1543)

ÖNCE
MÖ Y. 350 Aristoteles Evren'in merkezine Dünya'yı yerleştirir.

MÖ Y. 270 Aristarkhos, yıldızların çok uzakta olduğu Güneş-merkezli bir Evren önerir.

MS Y. 150 Ptolemaios *Almagest*'i yayımlar.

SONRA
1576 İngiliz astronom Thomas Digges Copernicus sistemini düzeltmeyi, dış kenarını atıp yerine yıldızlarla dolu sınırsız bir uzay koymayı önerir.

1605 Johannes Kepler yörüngelerin eliptik olduğunu keşfeder.

1610 Galileo Galilei Venüs'ün evrelerini ve Jüpiter'in aylarını keşfeder, Güneş merkezli görüşü güçlendirir.

15. yüzyıl Avrupasında pek çok kişiye göre, Dünya'nın kozmostaki yeriyle ilgili sorular 2. yüzyılda, Aristoteles'in öne sürdüğü düşüncelerde düzeltmeler yapan Yunan kökenli-Mısırlı matematikçi Ptolemaios tarafından yanıtlanmıştı. Bu düşünceler Dünya'yı kozmosun merkezine yerleştirmekteydi ve Kilisenin resmi onay mührünü de taşıyordu. Ancak, bu inanca ilk gerçek meydan okuma, Kilisenin içinde bir şahsiyetten, Polonyalı rahip Nicolaus Copernicus'tan geldi.

Durağan bir Dünya

Aristoteles'in ve Ptolemaios'un tarif ettiği Evren versiyonuna göre Dünya, Evren'in merkezinde durağan bir noktaydı; diğer her şey onun etrafında dönüyordu ve yıldızlar, Dünya'nın etrafında hızla dönen büyük, görünmez, uzak bir kürede sabitti. Güneş, Ay ve gezegenler de farklı hızlarda Dünya'nın etrafında dönüyordu.

Bu Evren düşüncesi sağduyuyu doğrular görünmekteydi. Her şeyden önce dışarıda durup gökyüzüne bakmak yetiyordu; Dünya'nın bir yerde durduğu, diğer her şeyin doğudan doğup, gökyüzünden geçerek batıdan battığı apaçıktı. Dahası, görünen o ki, Kitabı Mukaddes de Güneş'in hareket ettiğini, Dünya'nın etmediğini söylüyordu; bu yüzden, bu görüşle çelişen herkes, sapkınlıkla suçlanabilirdi.

> Hiçbir keşif ve kanı, insan ruhunu Copernicus'un öğretisinden daha fazla etkilememiş olabilir.
> **Johann von Goethe**

Dırdırcı kuşkular

Dünya-merkezli ya da Güneş-merkezli Evren modeli, hiçbir zaman herkesi ikna etmemişti; aslında 1800 yıldan fazla bir süre boyunca bu konuyla ilgili kuşkular zaman zaman yüzeye çıkmıştı. En ciddi kuşkular, gezegenlerin hareketlerini ve görünümlerini öngörmekle ilgiliydi. Aristoteles'in Dünya-merkezli Evren

Nicolaus Copernicus



Nicolaus Copernicus 1473'te Polonya'nın Torun kentinde doğdu. 1491'den 1495'e kadar Krakow Üniversitesinde matematik, astronomi ve felsefe; sonra 1496'dan itibaren İtalya'da, Bologna Üniversitesinde kilise hukuku ve astronomi okudu. 1497'de Polonya'da Frombork Katedrali rahipliğine atandı – ömrünün sonuna kadar sürdürdüğü bir görev. 1501'den 1505'e kadar İtalya'da Padua Üniversitesinde hukuk, Yunanca ve tıp okudu. Daha sonra Frombork'a döndü ve ömrünün geri kalan kısmının çoğunu orada geçirdi. 1508'e gelindiğinde kendi Güneş-merkezli Evren modelini geliştirmeye başlamıştı. 1514'te düşüncelerinin bir özetini yayımlamasına rağmen, bu çalışmasının ancak 1530'da bitirebildi. Dalga geçilme ya da kovuşturmaya uğrama riskini gören Copernicus, teorisinin tam versiyonunu yayımlamayı ömrünün son haftalarına kadar erteledi.

Önemli eserleri

1514 *Commentariolus*
1543 *De revolutionibus orbium coelestium* (*Gök Kürelerin Devinimleri Üzerine*).

Ayrıca bakınız: Yer merkezli model 20 ▪ Erken Güneş-merkezli model 21 ▪ Bilgiyi pekiştirme 24–25 ▪ Tycho modeli 44–47 ▪ Eliptik yörüngeler 56–63 ▪ Galileo'nun teleskobu 56-63 ▪ Yıldız sapıncı 78 ▪ El-Battani (Rehber) 334

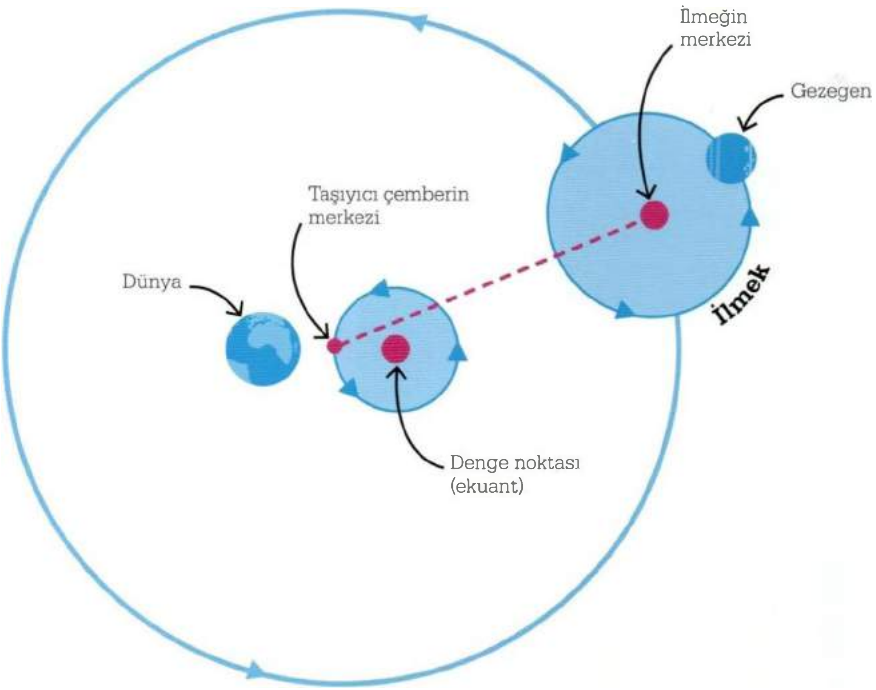
versiyonuna göre gezegenler –diğer bütün gök cisimleri gibi– Dünya'nın etrafında her biri kendi sabit hızıyla dönen görünmez eş-merkezli kürelere yerleşikti. Ama bu doğru olsaydı, her gezegenin gökyüzünde sabit bir hızla ve değişmez bir parlaklıkla hareket etmesi gerekirdi ve gözlemlenen bu değildi.

Ptolemaios'un sabitleri

En bariz anomali, hem de Babilliler hem Çinliler tarafından dikkatle gözlemlenen Mars'tı. Bazen hızlanıp bazen yavaşlıyor gibi görünüyordu. Mars'ın hareketleri, sabit yıldızların hızlı dönen dış küresinin hareketleriyle karşılaştırıldığında, genellikle belirli bir yönde hareket ediyordu ama arada bir ters yöne gidiyordu; "geri devinim" olarak tarif edilen tuhaf bir davranış. Ayrıca bir yılın seyri içinde parlaklığı da büyük ölçüde değişmekteydi. Diğer gezegenlerde de benzer ama daha az dramatik düzensizlikler gözlenmekteydi. Ptolemaios bu sorunları halletmek için, özgün Aristotelesçi yer-merkezli modeli değiştirdi. Gözden geçirilip düzeltilmiş modelinde gezegenler eşmerkezli kürelerin kendilerine değil, eşmerkezli kürelerin bağlı olduğu çemberlere bağlandı. Bu çemberlere "ilmek" dedi. Bunlar, gezegenlerin etrafında döndüğü alt-yörüngelerdi; bu alt-yörüngelerin merkezi dönüş noktaları Güneş'in etrafında bulunuyordu. Ptolemaios'a göre bu düzeltmeler, gözlemlenen anomalileri açıklamaya yetiyor ve gözlem verilerine uyuyordu. Bununla birlikte, modeli çok karmaşıklaştı; çünkü öngörüyü gözleme uygun tutmak için daha fazla ilmek eklemek gerekiyordu.

> Gezegenler birçok ve oldukça önemli yolla, Dünya'nın devingenliğine tanıklık eder.
> **Nicolaus Copernicus**

Ptolemaios, her bir gezegenin ilmek denilen küçük bir daire içinde hareket ettiğini önererek Aristoteles'in yer-merkezli modelindeki bazı anormallikleri halletmeye çalıştı. Her ilmek, taşıyıcı çember (deferent) denilen bir küreye yerleşiktir. Her gezegenin taşıyıcı çemberi, Dünya'nın uzaydaki konumundan biraz kaymış bir noktanın etrafında dönüyordu. Bu nokta da, denge noktası (ekuant) denilen başka bir noktanın etrafında dönüyordu. Her gezegenin kendi denge noktası vardı.



Alternatif görüşler

MÖ 4. yüzyıldan itibaren çok sayıda astronom, yer-merkezli modeli çürüten teoriler öne sürmüştü. Bu teorilerden birine göre Dünya kendi ekseni etrafında dönüyordu ve bu durum, gök cisimlerinin günlük hareketlerinin büyük bir bölümünün nedenini açıklıyordu. Dönen bir Dünya kavramı ilk önce MÖ 350 civarında Yunan astronom, Herakleides Pontikos tarafından ve daha sonra Arap ve Hint astronomlarca öne sürülmüştü. Yer-merkezliliği destekleyenler bu düşünceyi saçmalık sayıp reddetti; dönen bir Dünya'nın, Dünya yüzeyindeki nesnelerin uçuşmasına neden olacak şekilde büyük rüzgârlar yaratacağına inanıyorlardı. İlk kez MÖ 250 civarında Samoslu Aristarkhos'un öner-



diği başka bir düşünceye göreyse, Dünya Güneş'in etrafında dönebilirdi. Bu düşünce, yerleşik Aristotelesçi görüşe aykırıdır; bununla beraber, yer-merkezliliği destekleyenler yüzyıllar boyunca bu görüşü elemek için, bilimsel olarak geçerliymiş gibi görünen bir neden göstermiştir; "yıldız paralaksının olmaması." Onlara göre, eğer Dünya Güneş'in etrafında dönseydi, yıldızların göreli konumunda bir değişiklik gözlemlemek olanaklı olurdu. Böyle bir değişiklik hiç gözlemlenmedi; bu nedenle, Dünya'nın hareket etmediğini iddia ediyorlardı.

Kendisine karşı çıkmak için çok az gözlemsel kanıt bulunan söz konusu felsefi geleneğin ve onu destekleyen teolojik argümanların yer-merkezli Evren görüşüne yüzyıllar boyunca itiraz edilmedi. Ne var ki, 1545'te Avrupa'da, Polonyalı bilgin Nicolaus Copernicus'un *De revolutionibus orbium coelestium* (*Gök Kürelerin Devinimleri Üzerine*) adlı bir kitabında oldukça inandırıcı bir itiraz bulunduğuna ilişkin söylentiler dolaşmaya başladı.

Kopernikçi devrim

Eser son derece kapsamlıydı ve yıllarca süren astronomik gözlemlere dayanarak, Evren'in nasıl çalıştığına ilişkin yeni, ayrıntılı, matematiksel ve geometrik bir model öneriyordu. Copernicus'un teorisi, birkaç temel önermeye dayanmaktaydı. Birincisi, Dünya günlük olarak kendi ekseni etrafında dönüyor ve bu dönüş, yıldızların, Güneş'in ve gezegenlerin gökyüzündeki günlük hareketlerinin çoğunu açıklıyordu.
Copernicus, binlerce yıldızın her 24 saatte Dünya'nın etrafında hızla dönmesinin hiç de olanaksız olmadığını; yıldızların uzak, dış kürelerinde sabit ve hareketsiz olduklarını; görünürdeki hareketlerinin aslında Dünya'nın dönüşünün neden oldu-



Alman haritacı Andreas Cellarius, 1660 tarihli yıldız atlasında Ptolemaios'un, Tiycha Brahe'nin ve Copernicus'un (burada gösterilen) kozmik sistemlerini resimledi. Her üçünün de savunucuları vardı.

ğu bir yanılsama olduğunu düşündü. Dönen Dünya'nın çok büyük rüzgârlar yaratacağı ve Dünya yüzeyindeki nesnelerin uçuşacağı düşüncesini çürütmek için, Copernicus Dünya'nın okyanuslarının ve atmosferinin gezegenin parçası ve doğal olarak bu dönüşün de parçası olduklarına işaret etti. Kendi ifadesiyle "Yalnızca Dünya'nın ve ona bağlı su öğesinin değil, havanın ve Dünya'ya aynı şekilde bağlı olan her şeyin büyük bölümünün de bu devinime sahip olduğunu söyleyeceğiz."

İkincisi, Copernicus Evren'in merkezinde Dünya değil, Güneş bulunduğunu, Dünya'nın Güneş'in etrafında farklı hızlarda dönen gezegenlerden yalnızca biri olduğunu öne sürdü.

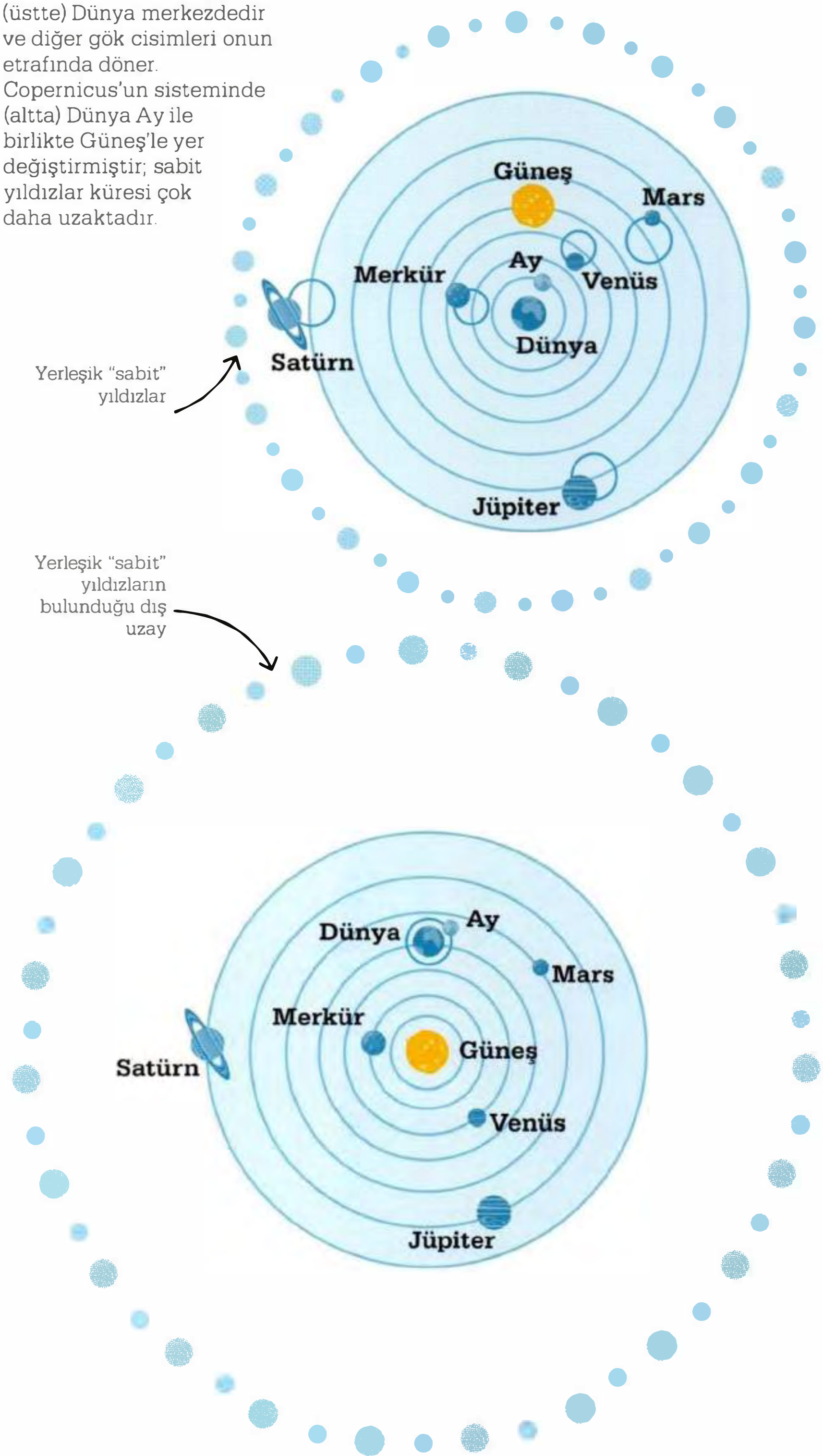
Zarif çözüm

Copernicus'un teorisinin bu iki temel ilkesi son derece önemliydi; çünkü Ptolemaios'un karmaşık uyarlamalarına başvurmadan gezegenlerin hareketlerini ve değişen parlaklıklarını açıklamaktaydı. Eğer Dünya ve Mars gibi başka bir gezegen Güneş'in etrafında ve farklı hızlarda dönerse, her birinin dönüşü tamamlaması farklı miktarda zaman alacağı için bazen Güneş'le aynı tarafta birbirlerine yakın, bazen Güneş'e karşıt tarafta birbirlerinden uzak olurlar. Bu, Mars'ın ve değer gezegenlerin parlaklığında gözlemlenen değişiklikleri bir çırpıda açıklamaktaydı. Güneş-merkezli sistem, görünürde geri devinimi de zarif bir biçimde açıklamaktaydı. Ptolemaios'un karışık ilmekleri yerine, Copernicus böyle bir devinimin, farklı hızlarda hareket eden Dünya'nın ve diğer gezegenlerin neden olduğu perspektif değişikliklerine bağlanabileceğini açıkladı.

Uzak yıldızlar

Copernicus'un ilkelerinden biri de şuydu: Yıldızlar Dünya'dan ve Gü-

Ptolemaios modelinde (üstte) Dünya merkezdedir ve diğer gök cisimleri onun etrafında döner. Copernicus'un sisteminde (altta) Dünya Ay ile birlikte Güneş'le yer değiştirmiştir; sabit yıldızlar küresi çok daha uzaktadır.



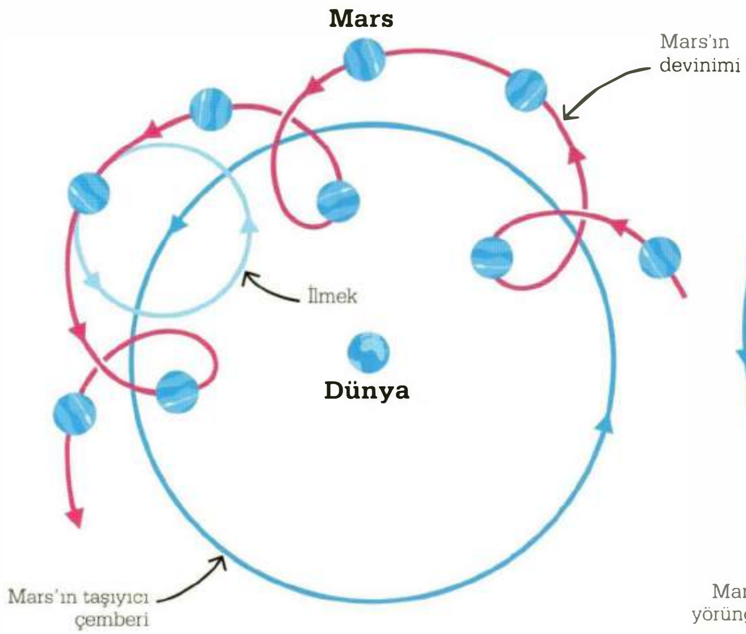
neş'ten daha önce inanılandan çok daha uzaktaydı. Şöyle diyordu: "Dünya ile Güneş arasındaki uzaklık, Dünya'nın ve Güneş'in yıldızlara uzaklığının önemsiz bir küsuratıdır." Daha önceki astronomlar yıldızların uzak olduğunu biliyorlardı ama çok azı, ne kadar uzak olabileceklerine dair fikir yürütebildi ve Aristarkhos gibi kuşkulananlar da, herkesi inandırmayı başaramamıştı. Herhalde Copernicus bile yıldızların tam olarak ne kadar çok uzak olduklarını hiçbir zaman idrak edememişti; şimdi en yakın yıldızların Güneş'ten 260.000 kat daha uzak oldukları biliniyor. Ama bu iddia, yıldız paralaksının içerimlerinden ötürü son derece önemliydi. Yüzyıllar boyunca, yer-merkezliliği savunanlar, paralaksın olmamasını Dünya'nın hareket etmiyor olabileceğinden kaynaklandığını öne sürmüştü. Şimdi, alternatif bir açıklama vardı: Paralaks yok değildi ama yıldızlar çok uzak oldukları için, zamanın aletleriyle ölçülemeyecek kadar küçüktü.

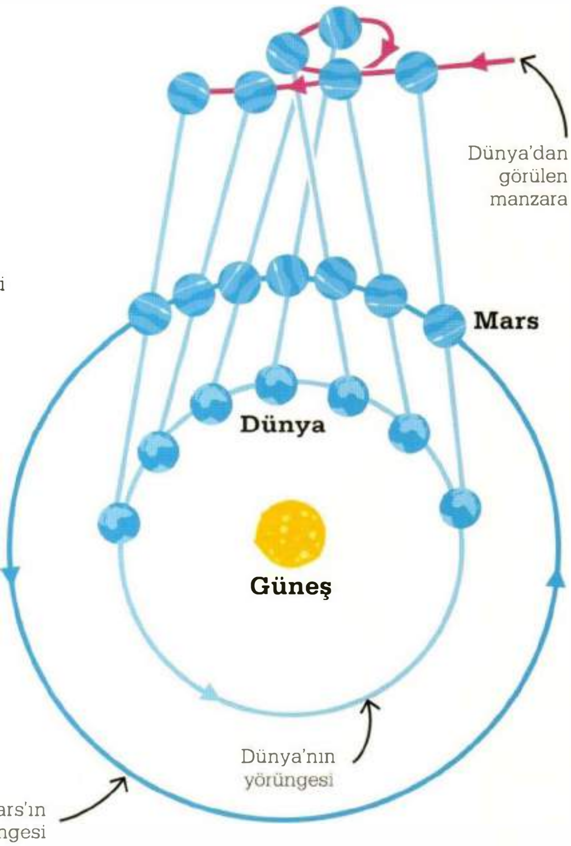
> “Şimdi söylediklerim karışık olabilir ama yeri gelince daha netleştirilecektir.”
> **Nicolaus Copernicus**

Copernicus, ayrıca, Dünya'nın Ay küresinin merkezinde olduğunu da öne sürdü. Copernicus, Ay'ın yer-merkezli modelde olduğu gibi, Dünya'nın etrafında döndüğünü savundu. Güneş-merkezli modelinde, Dünya Güneş'in etrafında dönerken, Ay Dünya'yla birlikte hareket etmekteydi. Bu sistemde Ay, öncelikle Güneş'in etrafında dönmeyen tek gök cismiydi.

Copernicus'un eseri geniş çapta okunmasına rağmen, temel düşüncelerinin, genel halk kitlesi bir yana, pek çok astronom tarafından kabul edilmesi yüzyıldan fazla zaman aldı. Güçlüklerden biri, Ptolemaios sisteminin birçok sorununu çözmesine rağmen, onun modelinin de daha sonraki astronomlarca düzeltilmesi gereken kusurlar içermesiydi. Bu kusurların birçoğu, fel-

Ptolemaios modelinde (solda) Mars'ın arada bir geriye devinimi, gezegenin uzayda yaptığı ilmeklerden kaynaklı görülmekteydi. Copernicus modelinde (sağda) geriye devinime, Dünya ile Mars Güneş'in etrafında farklı hızlarda döndükleri için meydana gelen perspektif değişiklikleri neden olmaktaydı. Arada bir Dünya, burada gösterildiği gibi, "Mars'ı içeride yakalayıp geçiyor" ve Mars'ın birkaç hafta ters yönde hareket ediyor gibi görünmesine neden oluyordu.







sefi nedenlerle Copernicus'un da gök cisimlerinin bütün hareketlerinin görünmez kürelere yerleşik nesnelerle gerçekleştiği ve bu hareketlerin kusursuz çember olması gerektiği inancına yapışıp kalmasından kaynaklanmaktaydı. Bu inanç, Copernicus'u Ptolemaios'un bazı ilmeklerini kendi modelinde korumaya mecbur etti. Daha sonra Johannes Kepler'in çalışmaları, dairesel yörüngeler düşüncesinin yerine eliptik yörüngeler düşüncesini geçirip, Copernicus'un modelinde kalan kusurların çok büyük bölümünü ortadan kaldırdı. Ancak 1580'lerde ve Danimarkalı astronom Tycho Brahe'nin çalışmalarıyla, göksel küreler düşüncesi serbest yörüngeler lehine terk edildi.

> Birkaç kişinin nezdinde ölümsüz bir ün kazanmasına rağmen, büyük çoğunluğu aptal olan sayısız kişinin alay edip mahkûm ettiği öğretmenimiz Copernicus'un kaderi beni yıldırıyor.
>
> **Galileo Galilei**

Kilise yasakladı

De Revolutionibus, başlangıçta bazı Protestanlar sapkın diye kınamasına rağmen, Roma Katolik Kilisesinden çok az direnişle karşılaştı. Ne var ki, 1616'da Katolik Kilise Copernicus'un kitabını mahkûm etti ve 200 yıldan fazla bir süre boyunca okunması yasaklandı. Kilisenin kararı, o sırada astronom Galileo Galilei ile girdiği tartışmayla örtüştü. Galileo, Kopernikçi teorinin ateşli bir savunucusuydu ve 1610'da Güneş-merkezli görüşü güçlü bir biçimde destekleyen keşifler yapmıştı. Galileo ile tartışma, Kilise yetkililerinin *De Revolutionibus*'u daha titiz incelemelerine neden oldu ve bazı önermelerinin Kitabı Mukaddes'e aykırı olması da muhtemelen yasaklanmasına yol açan nedendi.

Başlangıçta astronomlarca biraz muğlak görülen ve Katolik Kilisesince yasaklanan Copernicus'un Güneş-merkezli modelinin kabul görmesi, bu nedenle epeyce zaman aldı. Birkaç yüzyıl geçtikten sonra, temel önermelerinden bazılarının kuşku götürmez ölçüde doğru olduğu gösterildi: Dünya'nın yıldızlar karşısında hareket ettiği, 1729'da İngiliz astronom James Bradley tarafından kesin bir biçimde kanıtlandı. Dünya'nın döndüğüne ilişkin kanıt da, 1851'de Foucault'nun sarkacıyla geldi. ■

Mars'ın görünürdeki geri devinimi her 26 ayda bir gerçekleşir ve 72 gün sürer. Yörüngesi, Dünya'nınkinden biraz farklı bir düzlemdedir ve bu da, görünür ilmeğe katkıda bulunur.

TELESİ DEVRİ

1550–1750

KOP
Mİ

Tycho Brahe, Hveen adasında büyük bir **gözlemevi** kurar ve 20 yıl boyunca orada gözlem yapar.

1576

1600

İtalyan rahip **Giordano Bruno**, **Dünya'nın ve Güneş'in Evren'de merkezi** ya da özel olmadığını ifade ettikten sonra sapkın diye diri diri yakılır.

1608

Felemenk gözlükçü **Hans Lippershey**, üç kat büyüten **bir teleskop** için patent başvurusunda bulunur.

1610

33 kat büyüten bir teleskop kullanan **Galileo Galilei**, Jüpiterin etrafında dönen **dört uydu** keşfeder.

1619

Johannes Kepler gezegen deviniminin üç yasasıyla gezegenlerin **eliptik yörüngelerini** tarif eder.

1639

İngiliz astronom **Jeremiah Horrocks**, **Venüs'ün Güneş'in önünden geçişini** gözlemler.

Danimarkalı Tycho Brahe, teleskop-öncesi çağın son büyük astronomuydu. Daha doğru konumlar kaydetmeye çalışmanın önemini kavrayan Tycho, açıları ölçmek için çok hassas aletler yaptı. Copernicus'un bulabildiğinden çok üstün bol miktarda gözlem biriktirdi.

Görüntüyü büyütme

Gök cisimleri dünyası, Tycho 1601'de öldüğü sırada astronomlar için hâlâ uzak ve ulaşılmaz görünüyordu. Ne var ki, 1608 civarında teleskobun icadı, uzak Evren'i aniden yakınlaştırdı. Teleskobun göze göre iki önemli avantajı vardır: Daha fazla ışık toplama gücü ve daha ince ayrıntıyı ayrıştırabilme. Ana mercek ya da ayna ne kadar büyük olursa, her iki bakımdan da teleskop o kadar iyi olur. Galileo'nun Ay'ın engebeli yüzeyini ve Samanyolu'nun yıldız bulutlarını teleskopla ilk gözlemlediği 1610 yılından itibaren teleskop astronominin temel aleti haline gelip, inanılmaz manzaraları gözler önüne serdi.

Gezegen dinamiği

Tycho öldükten sonra, gözlemlerini kaydetme işi, asistanı Johannes Kepler'e geçti; Copernicus'un argümanları, Dünya'nın Güneş'in etrafında döndüğüne Kepler'i ikna etmişti. Tycho'nun verileriyle silahlanan Kepler matematik yeteneğini ve sezgisini kullanarak, gezegen yörüngelerinin dairesel değil, eliptik olduğunu keşfetti. 1619'a gelindiğinde, gezegenlerin nasıl hareket ettiğinin geometrisini açıklayan gezegen deviniminin üç yasasını formüle etmişti.

Kepler gezegenlerin nasıl hareket ettikleri sorununu çözmüştü ama niçin öyle hareket ettikleri sorunu yerli yerinde duruyordu. Eski Yunanlar gezegenlerin görünmez kürelerin üzerinde taşındıklarını hayal etmişti ama Tycho, kuyrukluyıldızların gezegenler arası uzaydan engelsiz geçtiklerini göstermişti. Kepler, Güneş'ten gelen bir etkinin geze-

> Daha ilerisini gördümse, devlerin omuzları üzerinde durduğum içindir.
> **Isaac Newton**

1659

Felemenk astronom **Christiaan Huygens, Satürn halkalarının** şeklini ilk kez doğru tarif eder.

1675

Giovanni Domenico Cassini, Satürn halklarında bir aralık saptar ve katı olmadıkları sonucuna varır.

1676

Danimarkalı **Ole Rømer,** Jüpiter'in Io uydusunun tutulmalarını gözlemleyerek **ışık hızını** ölçer.

1687

Isaac Newton evrensel kütleçekim yasasını açıkladığı *Principia*'yı yayımlar.

1705

İngiliz astronom **Edmond Halley**, şimdi onun adını taşıyan **kuyrukluyıldızın** geri dönüşünü öngörür.

1725

James Bradley yıldız sapıncı denilen bir etkiyi göstererek **Dünya'nın döndüğünü** kanıtlar.

genleri ittiğini düşündü ama bunu açıklayacak bilimsel araçları yoktu.

Evrensel kütleçekim

Gezegenlerin hareketlerinden sorumlu kuvveti, Einstein'a kadar meydan okunmayan bir teoriyle açıklamak Isaac Newton'a düştü. Newton gök cisimlerinin birbirlerini çektikleri sonucuna vardı ve iki cisim arasındaki çekim kuvvetinin aralarındaki uzaklığın karesi oranında azalmasının Kepler yasalarını doğruladığını matematiksel olarak gösterdi.

İyileşen teleskoplar

Newton nesnelerin nasıl hareket ettiğini matematiksel olarak açıklayıp astronomlara yeni bir teorik çerçeve yaratmanın yanı sıra, pratik konularda da dehasını çalıştırdı. İlk teleskopçular, her ne kadar teleskopları çok uzun yapmalarına yardımcı olsada, basit merceklerle renk sapıncından muaf görüntü elde etmeyi olanaksız buluyorlardı. Örneğin, Giovanni Domenico Cassini 1670'lerde Satürn'ü gözlemlemek için tüpsüz, uzun "hava" teleskopları kullandı.

1668'de Newton renk sorunu olmayan aynalı teleskobun ilk çalışan versiyonunu tasarladı ve yaptı. Newton'un tasarımı aynalı teleskoplar 18. yüzyılda, İngiliz mucit John Hadley parlak yansıtıcı metalden büyük kavisli aynalar yapma yöntemlerini geliştirdikten sonra, yaygın bir biçimde kullanıldı. Oxford profesörü ve daha sonra Kraliyet Astronomu James Bradley, aynalı teleskoptan etkilenen ve bir tane edinen ilk astronomdu.

Mercek yapımında da gelişmeler vardı. 18. yüzyılın başlarında İngiliz mucit Chester Moore Hall, renk sapıncını büyük ölçüde azaltan iki parçalı mercekler tasarladı. Optikçi John Dollond bu icadı kullanıp, çok gelişmiş mercekli teleskoplar yaptı. Kolay bulunabilir yüksek kaliteli teleskoplarla birlikte, pratik astronomi dönüşüme uğradı. ■

YENİ VE SIRA DIŞI BİR YILDIZ FARK ETTİM

TYCHO MODELİ



KISACA

ASTRONOM
Tycho Brahe (1546–1601)

ÖNCE
1503 O zamana kadar en doğru yıldız konumları, Nuremberg'de Bernhard Walther tarafından kaydedilir.

1543 Copernicus Güneş merkezli bir Evren düşüncesini tanıtıp, gezegen konumlarını öngörme olanağını geliştirir. Ama bu öngörüler hâlâ hatalıdır.

SONRA
1610 Galileo'nun teleskobu kullanması, sonunda çıplak gözle astronominin yerini alan bir devrimi başlatır.

1620 Johannes Kepler, gezegen devinimi yasalarını tamamlar.

1670'ler Bütün Avrupa başkentlerinde büyük gözlemevleri kurulur.

16. yüzyılda gezegenlerin tam yörüngeleri bir sırdı. Danimarkalı soylu Tycho Brahe, eğer bu sorun çözülecekse, uzun süreli doğru gözlemler yapılması gerektiğini anladı. 1562'de Tycho 17 yaşındayken Jüpiter ile Satürn'ün kavuşumunun eldeki en iyi astronomik cetvellerin öngördüğü zamandan günler sonra gerçekleşmesi, daha iyi veri ihtiyacını belirginleştirdi. Tycho, gezegenlerin görünür yollarının tamamı boyunca ölçüm almaya koyuldu.

Tycho'nun zamanındaki astronomi, Aristoteles'in yaklaşık 1900 yıl önce yazdığı öğretileri izlemekteydi. Aristoteles gök kubbedeki yıldızların sabit, kalıcı ve değişmez

Ayrıca bakınız: Yer merkezli model 20 ▪ Bilgiyi pekiştirme 24–25 ▪ Copernicus modeli 32–39 ▪ Eliptik yörüngeler 50–55 ▪ Hevelius (Rehber) 335

Yeni bir yıldızın belirmesi, Aristoteles'in yıldızların hiç değişmediğine ilişkin ısrarına meydan okur.

↓

Dikkatli ölçümler yeni yıldızın **atmosferik bir fenomen olmadığını** gösterir.

↓

Büyük Kuyrukluyıldıza ilişkin yapılan daha dikkatli ölçümler, onun **Ay'dan çok daha uzak** olduğunu gösterir.

↓

Dikkatli ölçümler, tutarlı Güneş Sistemi **modellerinin anahtarıdır.**



Tycho muazzam servetini kullanarak, Dünya'dan göründüğü şekliyle gece gökyüzünü modellemek için kullanılan bu halkalı küre gibi ince aletler tasarladı ve yaptı.

olduklarını ifade etmişti. 1572'de Tycho 26 yaşındayken gökyüzünde yeni bir parlak yıldız görüldü. Cassiopeia (Koltuk) takımyıldızındaydı ve 18 ay boyunca görünür kaldıktan sonra kayboldu. Egemen Aristotelesçi dogmadan etkilenen pek çok gözlemci, bunun atmosferde yüksekte ama Ay'ın aşağısında bir cisim olduğunu varsaydı. Tycho'nun yeni cisme ilişkin yaptığı dikkatli ölçümler, yakındaki yıldızlara göre hareket etmediğine onu inandırdı ve atmosferik bir fenomen değil, gerçek bir yıldız olduğu sonucuna vardı. Daha sonra yıldızın bir süpernova olduğu keşfedildi ve bu yıldız patlamasının kalıntıları, hâlâ gökyüzünde Cassiopeia B olarak görülebilir. Yeni bir yıldızın gözlemlenmesi, son derece ender bir olaydı. Şimdiye kadar çıplak gözle yalnızca sekiz süpernova gözlemi kaydedilmiştir. Bu olay, o sırada kullanılan yıldız kataloglarının öykünün tamamını anlatmadığını gösterdi. Daha fazla kesinliğe ihtiyaç vardı ve Tycho buna öncülük edecekti.

Hassas aletler

Tycho bu görevi yerine getirmek için, gökyüzünde bir gezegenin konumunu yaklaşık 0,5 yay-dakika (± 1/120^{0}) doğrulukla ölçebilen bir güvenilir aletler (kuadrant ve sekstant ile çemberli küreler) koleksiyonu kurma işine koyuldu. Kendisi şahsen 20 yıllık bir dönem boyunca gezegen konumlarını ölçtü ve bu amaçla 1576'da bugünkü Danimarka ile İsveç arasındaki Oresund Boğazında bulunan küçük Hven adasında büyük bir kompleksin inşasını denetledi. Bu, kendi türünde ilk araştırma enstitülerinden biriydi.

Tycho, Hven'deki gözlemevinde yıldızların konumunu dikkatli bir biçimde ölçtü ve yaklaşık 1,6 metre çapında ahşap bir küre üzerindeki pirinç levhalara kaydetti. 1595'e geldiğinde küresine yaklaşık 1000 yıldız kaydedilmişti. Küre, bir kutup ekseninde dönebiliyordu ve verili bir zamanda ufkun üzerinde konumlanan yıldızlar, ufkun altında olanlardan ayırt edilebilsin diye yatay bir halka kullanılıyordu. Tycho yolculuklarında küreyi yanında taşırdı; 1728'de Kopenhag'da bir yangında yok oldu.

Tycho'nun 1577'de Büyük Kuyrukluyıldızı gözlemlemesi değişen kozmosun bir başka kanıtıydı. Aristoteles kuyrukluyıldızların atmosferik fenomen olduklarını iddia etmiş-

ti ve 16. yüzyılda hâlâ buna genellikle inanılıyordu. Tycho kuyrukluyıldızın konumuna ilişkin Hven'de aldığı ölçümleri, Bohemyalı astronom Thaddaeus Hagecius'un aynı sırada Prag'da aldığı ölçümlerle karşılaştırdı. Her iki durumda da kuyrukluyıldız aşağı yukarı aynı yerde gözlemlenmişti ama Ay öyle değildi; bu durum, kuyrukluyıldızın çok daha uzakta olduğunu gösteriyordu.

Tycho'nun kuyrukluyıldızın gökyüzünde katettiği yola ilişkin aylarca yaptığı gözlemler de, onu kuyrukluyıldızın Güneş Sisteminde yol aldığına inandırdı. Bu da, geçen 1500 yıl boyunca inanılan başka bir teoriyi altüst etti. Yunan kökenli-Mısırlı büyük astronom Ptolemaios gezegenlerin gerçek, katı, ether, saydam kristal kürelere gömülü olduklarına ve bu kürelerin dönüşünün gezegenleri gökyüzünde hareket ettirdiğine inanmıştı. Ne var ki, Tycho kuyrukluyıldızın engelsiz hareket ediyormuş gibi göründüğünü gözlemledi ve kürelerin var olmayabileceği sonucuna vardı. Bu nedenle, gezegenlerin uzayda desteksiz hareket ettiklerini öne sürdü; o zamanlar için cüretkâr bir kavrayış.



Paralaks yok

Tycho, Copernicus'un Evren'in merkezinde Dünya'nın değil Güneş'in bulunduğuna ilişkin önermesiyle de çok ilgilendi. Copernicus haklıysa, Dünya Güneş'in etrafındaki yıllık yörüngesinde döndükçe çevre yıldızların bir taraftan diğerine sallanıyor gibi görünmeleri gerekirdi – paralaks olarak bilinen bir fenomen. Tycho çok araştırdı ama herhangi bir yıldız paralaksı bulamadı. İki olası sonuç vardı. Birincisi: Yıldızlar çok uzaktı, yani konumlarındaki değişiklik Tycho'nun o günün aletleriyle ölçemeyeceği kadar küçüktü. (Şimdi, en yakın yıldızın paralaksının bile, Tycho'nun gözlemlerindeki kabul edilen doğrudan yaklaşık 100 kat daha küçük olduğu biliniyor.) İkinci olasılık şuydu: Copernicus yanılıyordu ve Dünya hareket etmiyordu. Tycho bu sonuca vardı.

Tycho modeli

Tycho bu sonuca ulaşırken, kendi dolaysız deneyimine güvendi. Dünya'nın döndüğünü hissetmedi. Aslında gözlemlediği hiçbir şey, onu gezegenin döndüğüne inandırmadı. Dünya durağan gibi görünüyordu ve

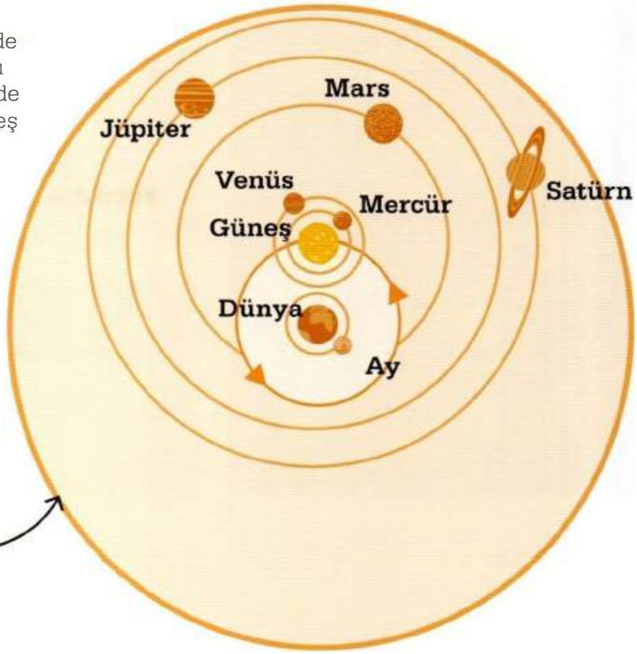
Tycho Brahe'nin Hven adasındaki gözlemevi kompleksi, kurulduğu yıl 1576 ile kapandığı yıl 1597 arasında Avrupa'nın her tarafından bilginleri ve öğrencileri kendine çekti.

devinim halinde görünen tek şey, dış Evren'di. Bu durum, Tycho'nun Kopernikçi kozmosu bir tarafa bırakıp, kendi kozmosunu sunmasına yol açtı. Onun kozmos modelinde, Dünya dışındaki bütün gezegenler Güneş'in etrafında, ama Güneş ile Ay, durağan bir Dünya'nın etrafında dönüyordu.

1601'de ölümünden sonra on yıllar boyunca Tycho'nun modeli, Ptolemaios'un Dünya-merkezli sisteminden hoşnut olmayan ama yasaklanan Copernicus modelini benimseyerek Katolik Kiliseyi kızdırmak da istemeyen astronomlar arasında rağbet gördü. Ne var ki, Tycho'nun gözlemsel tutarlılıkta ısrarı, ölümünden kısa süre sonra düşüncesinin bir tarafa bırakılmasına yol açacak veriyi sağladı. Onun tutarlı gözlemleri, Johannes Kepler'in gezegenlerin yörüngelerinin eliptik olduklarını tanıtlamasına ve hem Tycho hem de Copernicus modellerini yerinden edecek bir model yaratmasına yardımcı oldu.

Tycho'nun gelişmiş aletleri, İngiliz astronom Edmond Halley'in 1718'de yıldızların özdevinimini (yıldızların uzayda deviniminden kaynaklanan konum değişikliği) keşfetmesine de olanak sağlayacaktı. Halley parlak Sirius, Arcturus ve Aldebaran yıldızlarının Tycho'nun zamanında, 1850 yıl önce Hipparkhos'un kaydettiği konumlarından yarım derece uzağa hareket ettiklerini fark etti. Yıldızlar gökyüzünde sabit olmadığı gibi, yakın yıldızların değişen konumları da ölçülebiliyordu. Yıldız paralaksı 1838'e kadar saptanamadı. ■

Tycho modeli, Ptolemaios modelinde olduğu gibi Dünya'yı kozmosun merkezinde tutar fakat bilinen beş gezegen, Güneş'in etrafında döner. Tycho, Copernicus modelinden etkilenmesine rağmen, Dünya'nın hareket etmediğine inanıyordu.



Tycho Brahe



1546'da Scania'da (o sırada Danimarka, şimdi İsveç sınırları içinde) bir soylu olarak doğan Tyge Ottesen Brahe (Tycho, ilk adının Latince versiyonudur), 1560'ta öngörülen bir Güneş tutulmasını gördükten sonra astronom oldu.

1575'te Kral II. Frederick, Oresund Boğazındaki Hven adasını Tycho'ya verdi ve o da orada bir gözlemevi kurdu. Daha sora Tycho, adayı çocuklarına bırakma ihtimali üzerine Frederick'in halefi IV. Christian'la anlaşmazlığa düştü ve gözlemevini kapattı. 1599'da Prag'da İmparator II. Rudolph'un matematikçisi oldu. Orada Tycho, Johannes Kepler'i kendi yardımcı olarak atadı. Tycho metal burnuyla ünlüydü; öğrenciyken girdiği bir düellodan kalan miras. 1601'de, iddiaya göre uzun bir kraliyet ziyafetinde kibarlıktan tuvalete gitmeyince mesanesi patladığı için öldü.

Önemli eserleri

1588 *Astronomiæ Instauratæ Progymnasmata (Yeni Astronomiye Giriş)*



MIRA CETI DEĞİŞKEN BİR YILDIZDIR

YENİ BİR YILDIZ TÜRÜ

KISACA

ASTRONOM
David Fabricius (1564–1617)

ÖNCE
MÖ 350 Yunan filozof Aristoteles, yıldızların sabit ve değişmez olduklarını iddia eder.

SONRA
1667 İtalyan astronom Geminiano Montanari, Algol yıldızının parlaklığının değiştiğini fark eder.

1784 John Goodricke, beş günde parlaklığı değişen bir yıldız olan Delta Cephei'yi keşfeder; İngiliz astronom Edward Pigott değişken Eta Aquilae'yi keşfeder.

19. yüzyıl Uzun dönemli değişkenler, katalizmik değişken, nova ve süpernova yıldızları da dahil olmak üzere farklı türden değişken yıldızlar keşfedilir.

1912 Henrietta Swan Leavitt, Delta Cephei gibi değişken yıldızların parlaklığı ile dönümleri arasında bir ilişki keşfeder.



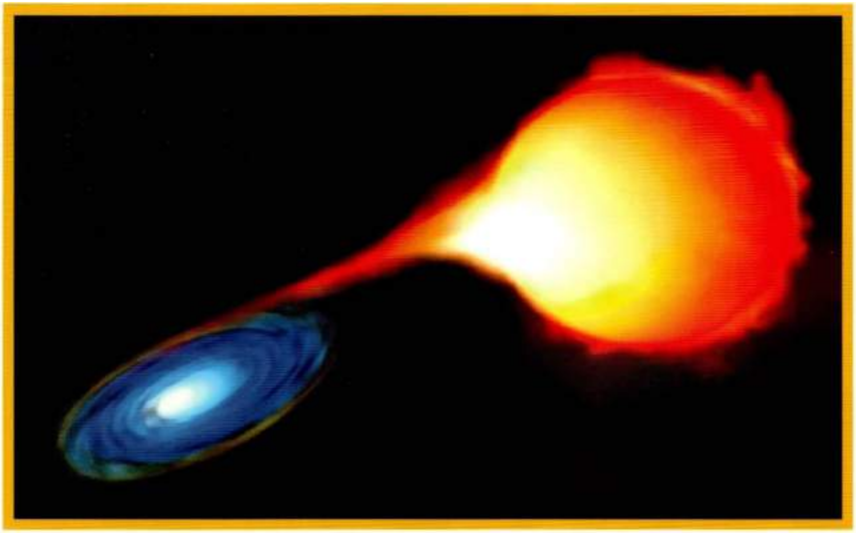
Alman astronom David Fabricius'un çalışmalarından önce, yalnıza iki tip yıldız olduğu sanılıyordu. Birincisi, berrak bir gecede ufkun üzerinde çıplak gözle görülebilen 2500 kadar parlaklığı değişmez yıldız vardı. İkinci tip yıldızlar, Tycho Brahe'nin 1572'de ve Johannes Kepler'in 1604'te gördüğü "yeni yıldızlar"dı. Değişmez yıldızlar, eski Yunan kozmosundaki sabit, kalıcı yıldızlarla –takımyıldızlardaki örüntüleri oluşturan ve asla değişmeyenlerle– eşanlamlıydı. Yeni yıldızlar ise, aksine, beklenmedik bir şekilde bir anda görünüp kayboluyor ve bir daha da görülmüyordu.

Üçüncü tür yıldız

Fabricius, Cetus takımyıldızında Mira Ceti (Omicron Ceti de denir) yıldızını gözlemlerken, gökyüzünde üçüncü tip bir yıldız –parlaklığı düzenli olarak değişen bir yıldız– bulunduğunu anladı. 1596 Ağustosunda, Jüpiter'in yakındaki bir yıldıza göre hareketini belirlerken bu keşfini yaptı.

Birkaç gün sonra, şaşırtıcı bir biçimde bu yıldızın parlaklığı yaklaşık üç kat artmıştı. Birkaç hafta sonra tamamen gözden kayboldu ve ancak yıllar sonra tekrar göründü. 1609'da

Ayrıca bakınız: Yer-merkezli model 20 ▪ Tycho modeli 44–47 ▪ Eliptik yörüngeler 50–55 ▪ Değişken yıldızlar 86 ▪ Evren'i ölçmek 130–37



Bir sanatçının izlenimi, Mira A'dan (sağda) onun yoldaşı beyaz cüce Mira B'nin (solda) etrafındaki sıcak diske madde akışını gösteriyor. Sistemdeki sıcak gaz, X-ışınları yayar.

Fabricius, Mira Ceti'nin dönemsel değişken bir yıldız olduğunu doğruladı ve kozmosun değişmediğini öne süren egemen Yunan felsefesinin aksine, yıldızların sabit olmadıklarını gösterdi.

Oğlu Johannes'le birlikte çalışan Fabricius, Güneş'e bakmak için bir *camera obscura* kullandı. Güneş lekelerini incelediler, lekelerin Güneş diskinde doğudan batıya doğru sabit hızla hareket ettiklerini gözlemlediler. Lekeler sonra kayboldu ve diğer tarafta tekrar göründü; gözden kayboldukları süre, Güneş diskinden geçiş zamanlarıyla aynıydı. Bu, Güneş'in döndüğüne ilişkin ilk somut kanıttı ve gök cisimlerinin değişken doğasının da bir kanıtıydı. Ne var ki, konuyla ilgili 1611'de yayımladıkları kitap büyük ölçüde görmezden gelindi ve Güneş lekelerinin hareketini tarif etme onuru, sonuçlarını 1613'te yayımlayan Galileo'ya verildi.

Çift yıldız sistemi

Şimdi Mira Ceti'nin 420 ışık yılı uzakta bir çift yıldız sistemi olduğu biliniyor. Mira A, yaklaşık 6 milyar yaşında ve evriminin son evresinde kararsız bir kırmızı dev yıldızdır. Büzülüp genişler, yalnızca büyüklüğü değil sıcaklığı da değişir. Döngüsünün daha soğuk bölümünde enerjisinin çoğunu ışık olarak değil, daha çok kızılaltı ışınım olarak salar ve bu yüzden parlaklığı dramatik ölçüde azalır. Mira B, Mira A'dan akan bir sıcak gaz diskiyle çevrili bir beyaz cüce yıldızdır. ■

> Kısaca, bu yeni yıldız [Kutsal Roma] İmparatorluğunda değişimin yanı sıra barışı da gösterir.
>
> **David Fabricius**
> ***Johannes Kepler'e bir mektupta***

David Fabricius

David Fabricius 1564'te Almanya'da Esens'te doğdu ve Helmsted Üniversitesi'nde okudu. Daha sonra Frisia'da bir grup kilisenin Lutherci papazı oldu.

Oğlu Johannes (1587-1615) ile birlikte astronominin büyüsüne kapıldı ve oğlunun Hollanda'ya yaptığı bir ziyaretten dönerken birlikte getirdiği ilk teleskopların hevesli bir kullanıcısıydı. Fabricius, kendisiyle birlikte Güneş'i gözlemlemek için *camera obscura* kullanımına öncülük eden Johannes Kepler'le yoğun bir biçimde mektuplaştı.

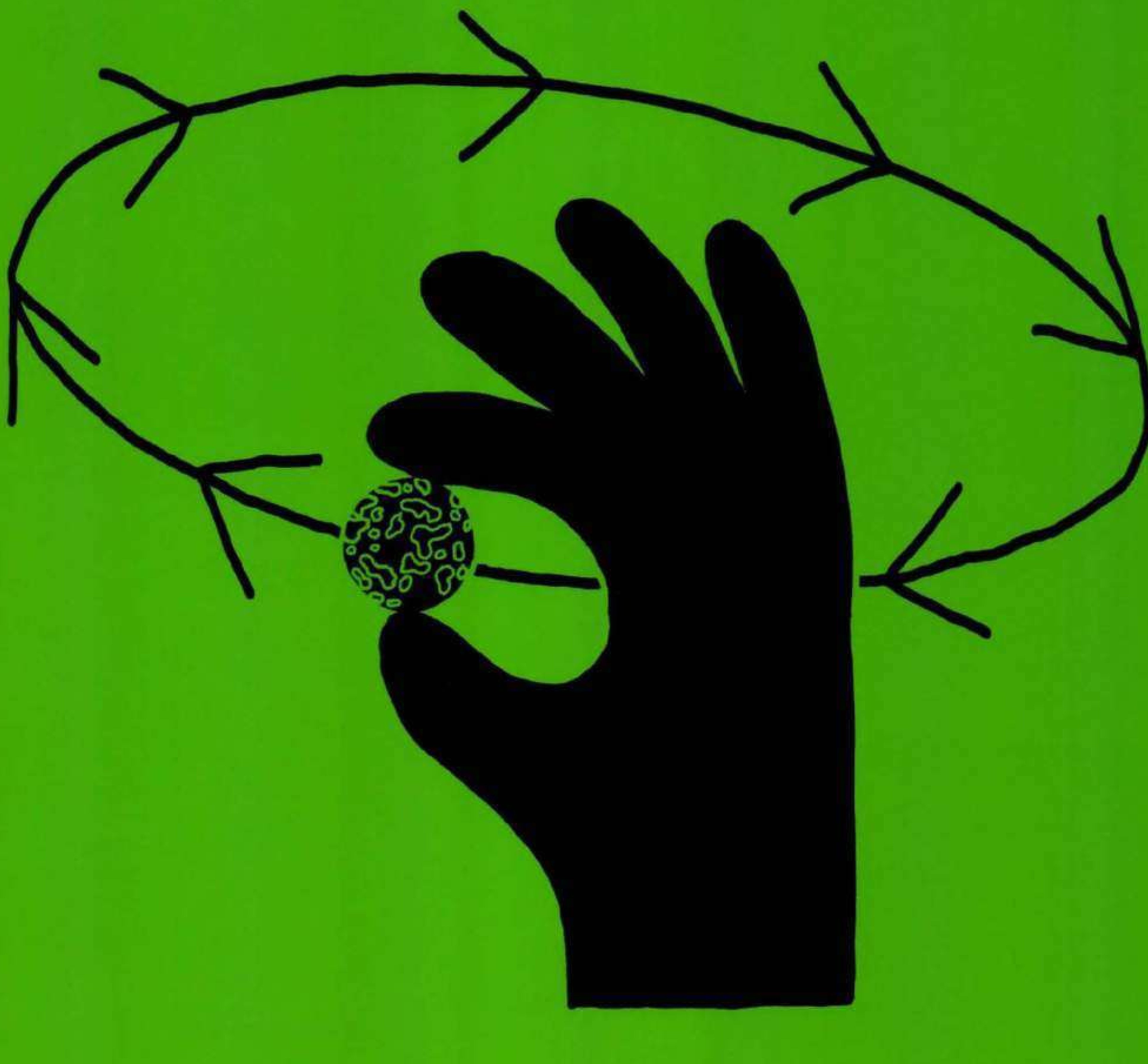
Mektupları ve yayınları dışında Fabricius hakkında çok az şey biliniyor. 1617'de vaaz kürsüsünden ifşa ettiği bir kaz hırsızı kürekle başına vurduktan sonra öldü.

Önemli eserleri

1611 *Narration on Spots Observed on the Sun and their Apparent Rotation with the Sun* (oğlu Johannes ile birlikte)

GEZEGENİN EN DOĞRU YOLU BİR ELİPSTİR

ELİPTİK YÖRÜNGELER



KISACA

ASTRONOM
Johannes Kepler (1571–1630)

ÖNCE
MÖ 530–400 Platon'un ve Pisagor'un eserleri, matematik kullanılarak kozmosun açıklanabileceğine Kepler'i inandırır.

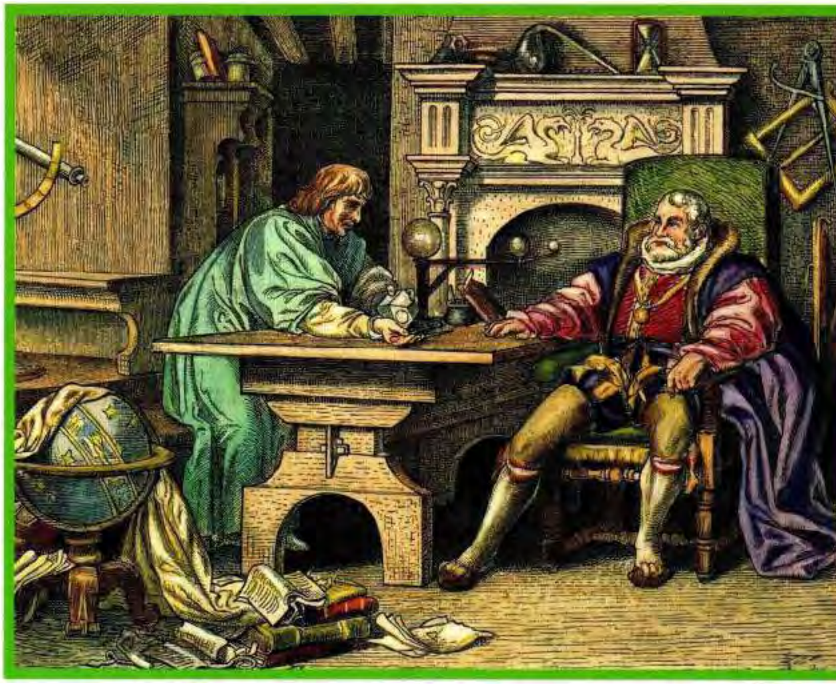
1543 Copernicus'un Güneş-merkezli kozmosu, astronomların Güneş Sistemini görselleştirmelerine yardım eder ama yine de, bir gezegen yörüngesinin gerçek şekli hakkında bir işaret vermez.

1600 Tycho Brahe, kendi gezegen gözlemlerinin güvenirliği konusunda Kepler'i ikna eder.

SONRA
1687 Isaac Newton, kütleçekim kuvvetinin ters kare yasasının, gezegenlerin Kepler'in yasalarına neden uyduğunu açıkladığını kavrar.

1716 Edmond Halley Venüs'ün geçişiyle ilgili gözlemleri kullanarak, Kepler'in gezegenlerin Güneş'e olan uzaklığına ilişkin oranlarını mutlak değerlere çevirir.

> Kepler, teori ile gözlem arasında ortalama bir uyuşmadan hiçbir zaman memnun kalmadı. Teori tam olarak uymalıydı, aksi takdirde yeni olasılıklar denenmeliydi.
> **Fred Hoyle**



Kepler'in en verimli yılları, Prag'da Kutsal Roma İmparatoru II. Rudolf'un (h. 1576-1612) himayesi altıda olduğu yıllardı. Rudolf astrolojiye ve simyaya özellikle meraklıydı.

17. yüzyıldan önce bütün astronomlar aynı zamanda astrologdu. Alman astronom Johannes Kepler de dahil, birçok astronom için yıldız falına bakmak, ana gelir ve nüfuz kaynağıydı. Gezegenlerin gökyüzünde nerede olduklarını bilmek önemliydi; ama gezegenlerin sonraki birkaç on yıl nerede olacaklarını öngörme yeteneği, astrolojik haritalar çıkarmak bakımından daha önemliydi.

Astrologlar öngörüde bulunmak için, gezegenlerin, merkezi bir cismin etrafında özgül yollar üzerinde hareket ettiklerini varsayıyorlardı. 16. yüzyılda Copernicus'tan önce pek çok kişi, bu merkezi cismin Dünya olduğunu düşünüyordu. Copernicus, merkezi cismin Güneş olduğu varsayılırsa gezegenleri öngörme matematiğinin ne kadar basit olabileceğini gösterdi. Bununla birlikte, Copernicus yörüngelerin dairesel olduklarını varsaydı ve tutarlı bir öngörüde bulunmak için sisteminde, gezegenler küçük bir çemberin etrafında, bu çemberin merkezinin de daha büyük bir çemberin etrafında hareket etmesi gerekiyordu. Bu dairesel hızların her zaman sabit oldukları varsayıldı. Kepler Kopernikçi sistemi destekledi ama ürettiği gezegen cetvelleri, hâlâ kolayca bir iki gün sapabiliyordu. Gezegenler, Güneş ve Ay gökyüzünde her zaman, tutulma dairesi olarak bilinen belli bir kuşakta görünüyorlardı; ama bireysel gezegenlerin Güneş'in etrafındaki gerçek yolları hâlâ bir sırdı; onları hareket ettiren mekanizma da öyleydi.

Yolları bulmak

Danimarkalı astronom Tycho Brahe öngörü cetvellerini iyileştirmek için, 20 yıldan fazla bir süreyi gezegenleri gözlemleyerek geçirdi. Sonra uzayda her gezegene, gözlem verilerine uyacak bir yol tayin etmeye ça-

Ayrıca bakınız: Copernicus modeli 32–39 ▪ Tycho modeli 44–47 ▪ Galileo'nun teleskobu 56–63 ▪ Kütleçekim teorisi 66–73 ▪ Halley kuyrukluyıldızı 74–77

lıştı. Brahe'nin yardımcısı Kepler'in matematik yetenekleri burada devreye girdi. Güneş Sistemi ve birbirinden ayrı gezegenlerin yolları için dairesel ve oval (yumurta-şeklinde) yörüngeler de dahil, özel modeller düşündü. Birçok hesaplamadan sonra Kepler, Tycho'nun kesin gözlemlerine uyan gezegen konumları öngörülerine söz konusu modelin yol açıp açmadığını belirledi. Tam uyuşma olmazsa, o düşünceyi bir tarafı bırakıp süreci yeniden başlatacaktı.

Daireleri terk etme

1608'de, 10 yıllık çalışmadan sonra Kepler, hem daireleri hem de sabit hızları terk etmeyi gerektiren çözümü buldu. Gezegenler bir elips oluşturuyordu –bir tür esnetilen daire; esneme miktarı, dış-merkezlik (s. 54) denilen bir nicelikle ölçülür. Elipslerin iki odağı vardır. Bir elips üzerindeki noktanın odak noktasından uzaklığı ile diğer odak noktasından uzaklığının toplamı, her zaman sabittir. Kepler, Güneş'in bu iki odaktan birinde olduğunu buldu. Bu iki olgu, gezegen deviniminin ilk yasasını oluşturur: Gezegenler, iki odağından birinde Güneş bulunan elips bir yörüngede devinirler. Kepler, bir gezegenin elipsi üzerindeki hızının her zaman değiştiğini ve bu değişimin sabit bir yasaya (Kepler'in ikinci yasası) uyduğunu da fark etti: Gezegen ile Güneş arasındaki bir doğru, eşit zamanlarda eşit alanları tarar (s. 54). Bu iki yasa, 1609'da *Astronomia Nova* kitabında yayımlandı.

Kepler, güçlü astrolojik anlamı olan, insan arzularını ve eylemlerini etkilediği düşünülen Mars'ı araştırmayı tercih etmişti. Mars değişken geriye ilmikler –hareket yönünün tersine gittiği periyodlar– çiziyor ve parlaklığında büyük değişimler oluyordu. Aynı zamanda yalnızca 1,88 dünya yıllık bir yörünge periyodu vardı, yani Mars Tycho'nun veri kümesinde Güneş'in etrafında yaklaşık 11 kez dönüyordu. Kepler Mars'ı seçmekle şanslıydı; çünkü yörüngesinin oldukça yüksek bir dış-merkezliği ya da esnemesi vardır: 0,093 (0, bir daire ve 1 de bir parabol olmak





Johannes Kepler

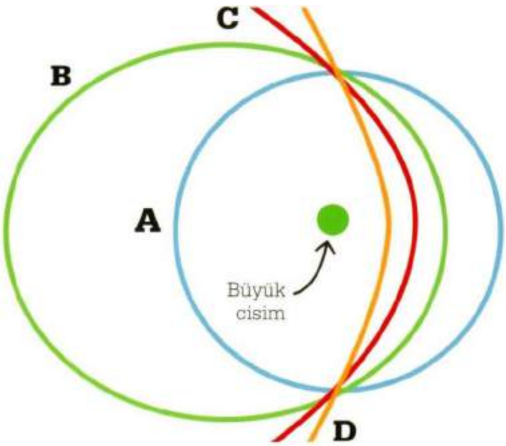
1571'de erken doğum sonucu dünyaya gelen Kepler, çocukluğunu Leonberg'de dedesinin hanında geçirdi. Çiçek hastalığı koordinasyon ve görme yetisini etkiledi. Bir burs, 1589'da Lutherci Tübingen Üniversitesine gitmesini olanaklı kıldı; orada, o sırada Almanya'nın en önde gelen astronomu olan Michael Maestlin'den ders aldı. 1600'de Tycho Brahe, onu Prag'a yakın Benátky Şatosunda birlikte çalışmaya davet etti. Tycho 1601'de ölünce Kepler, imparatorluk matematikçisi olarak onun yerine geçti.

1611'de Kepler'in karısı öldü ve Linz'de öğretmen oldu. Tekrar evlendi ve yedi çocuğu daha oldu; bunların beşi çocukken öldü. 1615 ile 1621 arasında çalışmalarına ara verdi; cadılıkla suçlanan annesini savundu. 1625'te Reformasyon-Karşıtı Katalolikler daha fazla sorun yaşamasına neden oldu ve Tübingen'e dönmesine engel oldu. Kepler 1630'da yüksek ateşten öldü.

Önemli eserleri

1609 *Astronomia Nova*
1619 *Harmonices Mundi*
1627 *Rudolphine Tables*

Yalnızca bir cisim, daha büyük bir cismin etrafında müdahalesiz döndüğü zaman, izleyebileceği yollar Kepler yörüngeleri olarak bilinir. Bunlar elipsleri, parabolleri ve hiperbolleri kapsayan, koni kesiti denilen bir grup eğridir. Yörüngenin şekli, dış-merkezlik denilen bir öznitelik tarafından belirlenir. 0 dış-merkezlik bir dairedir (A). 0 ile 1 arasında dış-merkezlik bir elipstir (B). 1'e eşit dış-merkezlik, bir parabol (C) ve 1'den büyük dış-merkezlik bir hiperbol (D) üretir.



üzere). Bu, Venüs'ün dış-merkezliliğinin 14 katıdır. Diğer gezegenlerin de eliptik yörüngelerinin olduğunu göstermesi 12 yılını aldı.

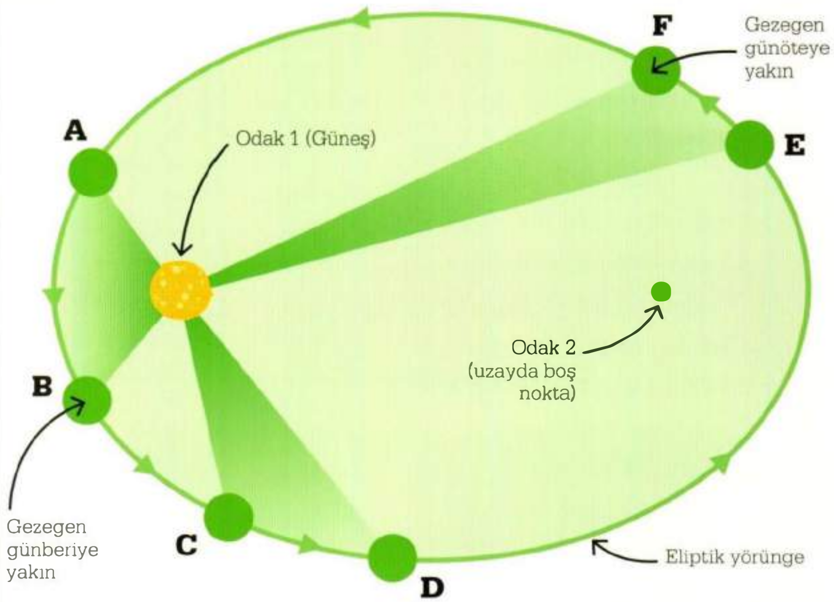
Brahe'nin gözlemlerini inceleyen Kepler, gezegenlerin yörünge periyodlarını da ortaya çıkarabildi. Dünya Güneş'in etrafını bir yılda, Mars 1,88, Jüpiter 11,86 ve Satürn 29,45 Dünya yılında döner. Kepler, yörünge periyodunun karesinin, gezegenin Güneş'e ortalama uzaklığının üçüncü kuvvetiyle orantılı olduğunu anladı. Bu onun üçüncü yasası oldu ve 1619'da *Harmonices Mundi* kitabında, astroloji, gezegen müziği ve geometrik figürler üzerine uzun yazılarla birlikte yayımlandı. Kitabı çıkarması 20 yılını almıştı.

Anlam arama

Kepler, gezegenlerin yörüngelerinde bulduğu örüntülerden büyülendi. Copernicus'un kozmos sistemi kabul edilince, altı gezegenin –Merkür, Venüs, Dünya, Mars, Jüpiter ve Satürn– yörünge büyüklüğünün 8 : 15 : 20 : 30 : 115 : 195 oranlarında göründüğünü fark etti.

Bugün astronomlar gezegenlerin yörünge büyüklüklerine ve dış-merkezliliklerine bakıp, bunları birkaç milyar yıllık değişimle birlikte gezegen oluşum sürecinin sonuçları olarak görebilirler. Ama Kepler'e göre sayıların açıklanmaya ihtiyacı vardı. Koyu dindar bir adam olan Kepler, bilimsel eserinde ilahi bir amaç aradı. Altı gezegen gördüğü için, altı sayısının derin bir anlamı olması gerektiğini düşündü. Güneş Sisteminin düzenli bir geometrik modelini üretti; bu modelde, her gezegen yörüngesini içeren Güneş-merkezli kürelerin içinde ve dışında düzgün bir "geometrik" cisim (yüzleri ve iç açıları eşit olan beş olası katı cisim) vardı. Merkür'ün yörüngesini içeren küre, bir sekizyüzlünün içindeydi. Bu düzenli cismin köşelerine değen küre, Venüs'ün yörüngesini içermekteydi. Sonra Dünya'nın yörüngesi, onikiyüzlü, Mars, dörtyüzlü, Jüpiter, küp ve son olarak Satürn geliyordu. Sistem güzel bir biçimde düzenliydi, ama doğru değildi.

Kepler'in büyük atılımı, gezegen yörüngelerinin gerçek biçimini hesaplamasıydı; ama üç yasasının arkasındaki fizik, onu fazla ilgilendirmemiş gibi görünüyor. Nitekim, Mars'ın araba içinde bir melek tarafından yörüngesinde taşındığını ya da Güneş'ten gelen manyetik bir etkiyle süzüldüğünü öne sürdü. Hareketlerin bir kütleçekim kuvvetinden kaynaklandığı düşüncesi, yak-



Kepler'in ikinci yasasına göre bir gezegeni Güneş'e bağlayan doğru, eşit zamanlarda eşit alanları tarar. Bu, eşit alanlar yasası olarak da bilinir. Üç eşit gölgeli alanla gösteriliyor: ABS, CDS ve EFS alanları. A'dan B'ye gitmek, C'den D'ye ve E'den F'ye gitmek kadar uzun zaman alır. Bir gezegen, Güneş'e en yakın olduğu zaman, günberide, en hızlı şekilde hareket eder; bir gezegenin en yavaş devinimi, Güneş'e en uzak olduğu zaman, günötede gerçekleşir.

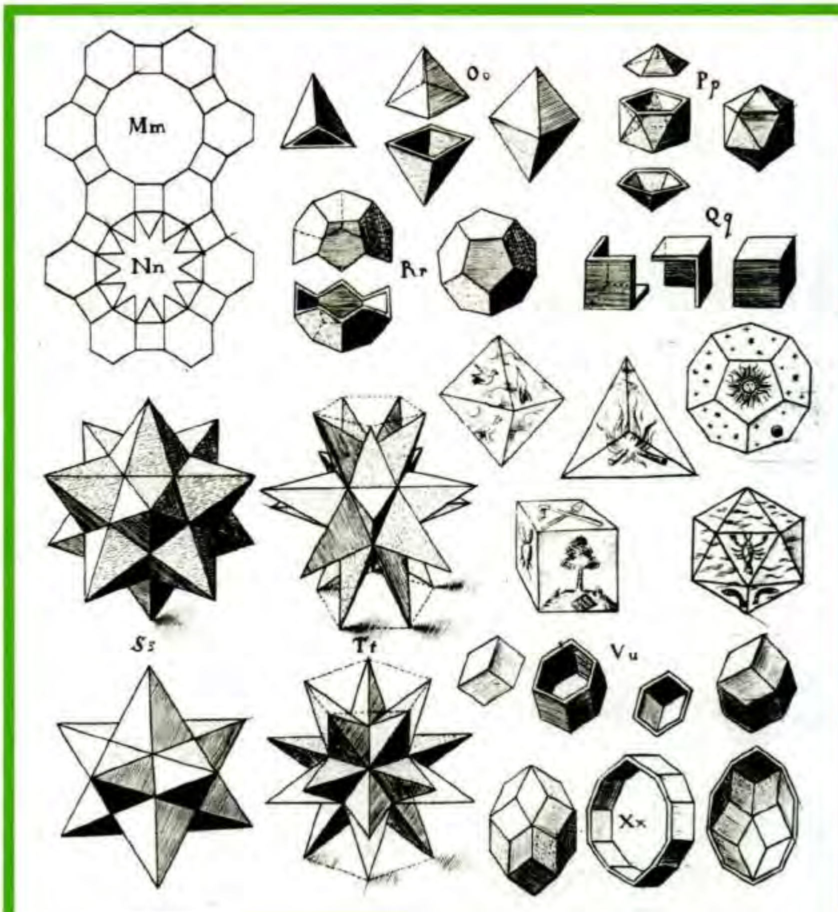
> Kepler Tanrı'nın Dünya'yı mükemmel sayılar ilkesine uygun yarattığına, bu yüzden gezegen deviniminin gerçek ve keşfedilebilir nedeninin matematiksel uyum olduğuna inanıyordu
>
> **William Dampier**
> ***Bilim tarihçisi***

laşık 70 yıl sonra Isaac Newton'un düşünceleriyle birlikte geldi.

Daha geniş katkılar

Kepler optik araştırmalarında da önemli ilerlemeler kaydetti ve 1604 tarihli kitabı *Astronomiai Pars Optica*, bu konuda öncü kitap sayılır. Galileo'nun teleskobu ilgisini çok çekti ve hem objektif hem de büyütücü göz merceği için içbükey mercekler kullanan bir tasarım bile önerdi. İlk kez Ekim 1604'te görülen ve bugün genellikle Kepler süpernovası denilen süpernovayla ilgili de yazı yazdı. Tycho'nun yolundan giden Kepler de, Aristoteles'in "sabit kozmos" düşüncesinin aksine, gökyüzünün değiştiğini anladı. Yakın zamanda bu yeni yıldızla birleşen bir gezegen kavuşması, Kitabı Mukaddes'in "Beytlehem Yıldızı" hakkında spekülasyon yapmasına yol açtı. Kepler'in ateşli hayalgücü, Ay'a uzay yolculuğunu ve yolcunun oraya gidince karşılaşabileceği coğrafyayı tartıştığı *Somnium* kitabını da üretti. Birçok kişi bu kitabı ilk bilimkurgu eseri olarak görür.

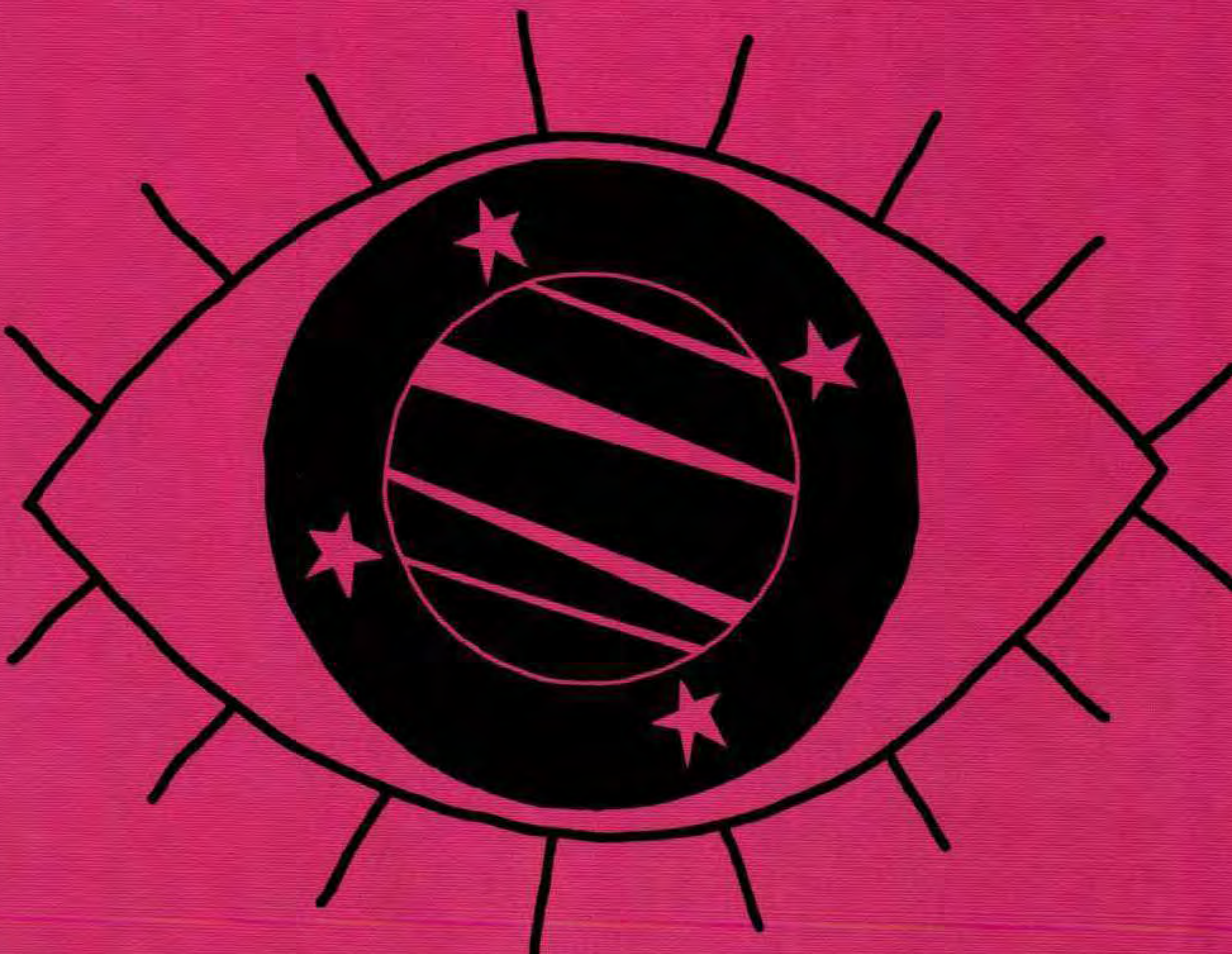
Bununla birlikte Kepler'in en etkili yayını, astronomi üzerine *Epitome Astronomiai Copernicanae* denilen bir ders kitabıydı ve 1630 ile 1650 arasında en yaygın kullanılan astronomi eseri oldu. Rudolf Cetvelleri (Prag'daki hamisi İmparator Rudolf'un adını verdi) sonunda yayımlandı ve öngörülen gezegen konumlarına ilişkin bu cetveller, 1617 ile 1624 arasında yüksek fiyatlı takvimler çıkarmasına çok yardımcı oldu. Bu cetvellerin birkaç on yılda kanıtlanan doğruluğu, hem Copernicus'un Güneş-merkezli Güneş Sisteminin hem de Kepler'in kendi üç yasasının kabul edilmesini teşvik etti. ■



***Harmonices Mundi*'de** Kepler, kozmosun sırrını çözmek için düzgün şekillerle deneyler yaptı. Bu şekilleri notlarla ilişkilendirip, bir "küreler müziği" öne sürdü.

GÖZLERİMİZ, BİZE JÜPİTER'İN ETRAFINDA DÖNEN DÖRT YILDIZ GÖSTERİYOR

GALILEO'NUN TELESKOBU



KISACA

ASTRONOM
Galileo Galilei (1564–1642)

ÖNCE
1543 Nicolaus Copernicus Güneş-merkezli bir kozmos teorisi önerir ama Dünya hareket etmiyor gibi göründüğü için kanıta ihtiyaç vardır.

1608 Felemenk gözlükçü ilk teleskopları geliştirir.

SONRA
1656 Felemenk bilim insanı Christiaan Huygens, daha ayrıntılı ve daha solgun nesneleri saptayabilen daha büyük teleskoplar yapar.

1668 Isaac Newton ilk aynalı teleskobu, kromatik sapınç (s. 60) bozulmasından daha az etkilenen bir alet üretir.

1733 İlk kristal camlı akromatik mercek yapılır. Bu, mercekli teleskopların potansiyel görüntü kalitesini büyük ölçüde iyileştirir.

Galileo Galilei'nin teleskobu etkin kullanması, astronominin tarihinde bir dönüm noktasının işaretiydi. Fotoğrafın tanıtılması, kozmik radyo dalgalarının keşfi ve elektronik bilgisayarın icadı gibi başka dönüm noktaları da oldu ama teleskobun icadı, astronominin ilerlemesi bakımından temel önemdeydi.

Çıplak gözün sınırları

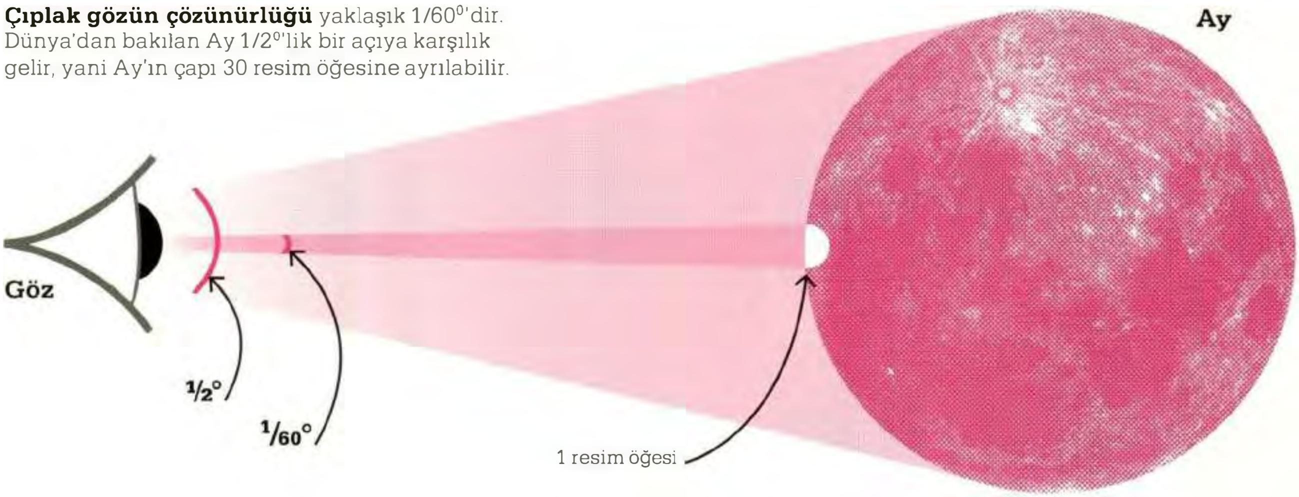
Galileo'dan önce, gökyüzünü gözlemlemenin tek yolu çıplak gözdü. Çıplak göz iki bakımdan sınırlıdır: Ayrıntıyı kaydedemez ve yalnızca yeterince parlak nesneleri saptayabilir.

Dolunaya bakıldığı zaman, Ay'ın çapı Dünya yüzeyinde 1/2°'lik bir açıya karşılık gelir. Yani Ay'ın iki karşıt yanından uzanan iki çizgi, 1/2°'lik bir açı yaparak güzle buluşur. Ne var ki, çıplak göz ancak birbirinden yaklaşık 1/60°'den fazla uzak olan ayrı nesneleri fark edebilir. Gözün çözünürlüğü budur ve fark edebildiği ayrıntı düzeyini belirler. Çıplak gözle dolunaya bakıldığında, Ay'ın çapı, dijital bir fotoğraftaki birbirinden ayrı piksellere benzeyen 30 resim öğesine ayrılır. Koyu ay denizleri ve daha aydınlık tepeleri ayırt edilebilir ama birbirinden ayrı dağlar ve onların gölgeleri fark edilemez.

> Samanyolu, salkımlar halinde birleşen sayısız yıldızın oluşturduğu bir kitleden başka bir şey değildir.
> **Galileo Galilei**

Galileo'nun İtalya'sında kırsal alanda, ay ışığının olmadığı, bulutsuz bir gecede gökyüzüne bakıldığında, ufkun üstünde 2500 yıldız görülebilirdi. Samanyolu –yandan görülen Güneş Sistemi diski– çıplak göze saman saçılmış bir yol gibi görünür. Yalnızca bir teleskop, Samanyolu'nun bireysel yıldızlardan oluşuyormuş gibi görünmesine sağlar; teleskop ne kadar büyükse, o kadar çok yıldız görülür. Yeni teleskabunu gökyüzüne çeviren Galileo, gökyüzündeki bu yıldız kuşağının gerçek

Çıplak gözün çözünürlüğü yaklaşık 1/60°'dir. Dünya'dan bakılan Ay 1/2°'lik bir açıya karşılık gelir, yani Ay'ın çapı 30 resim öğesine ayrılabilir.



Ayrıca bakınız: Copernicus modeli 32–39 ▪ Tycho modeli 44–47 ▪ Eliptik yörüngeler 50–55 ▪ Barnard (Rehber) 337



Galileo, teleskabunu Venedik Doçu Leonardo Donato'ya tanıtıyor. Kendi zamanının diğer astronomları gibi Galileo da mali kaynak ve çalışmalarını meşrulaştırmak bakımından himayeye yaslanıyordu.

doğasını takdir eden ilk kişilerden biri olacaktı.

Bir teleskop yapmak

Teleskobu Galileo icat etmedi. İki merceği –bir borunun önünde ışığı toplamak için büyük bir mercek ve arkasında görüntüyü büyütmek için küçük bir mercek– birleştirme düşüncesi Eylül 1608'de, Felemenk-Hans Lipperhey, Jacob Metius ve Sacharias Janssen'den gelmişti. (Okuma gözlüğünün icadından teleskobun icadına ilerlemek 300 yıldan fazla bir süre almıştı.) Galileo bu yeni aleti duyduktan sonra, kendine bir tane yapmaya karar vermişti.

Bir teleskop iki önemli iş yapar. Çözünürlüğü (bir teleskobun algılayabildiği ayrıntı) objektif merceğin –önde ışığı toplayan büyük mercek– çapıyla orantılıdır. Objektif mercek ne kadar büyükse, çözünürlük o kadar iyi olur. Karanlığa tam uyarlanmış bir gözün, çapı yaklaşık 0,5 santimetre olan bir gözbebeği vardır ve çözünürlüğü yaklaşık 1/60^0'dir. Objektif merceği 1, 2 ya da 4 santimetre çapında olan bir teleskabun arka tarafına bir göz konulduğunda, çözünürlük sırasıyla 1/120^0, 1/240^0 ve 1/480^0 iyileşir. O zaman ayrıntılar görülür. Örneğin Jüpiter bir nokta gibi değil, bir disk gibi görünür.

Teleskop, bir "ışık kovası" işlevi de görür. Objektif merceğin çapı iki katına çıktığı her seferinde, toplanan ışık dört kat artar ve ışık çıkışı benzer olan nesneler, iki kat uzaktalarsa fark edilebilirler. 1, 2 ve 4 santimetrelik objektif mercekler gözün sırasıyla 20.000, 160.000 ve 1.280.000 yıldız ayırt etmesine olanak verir.



Galileo yalnızca üç kat büyüten ilk aletinden memnun kalmadı. Bir teleskabun büyütme kapasitesinin, objektif merceğin odak uzunluğunun göz merceğinin odak uzunluğuna oranıyla ilgili olduğunu anladı. Nesnel mercek için daha uzun odaklı dışbükey bir mercek ya da göz merceği için daha kısa odaklı içbükey bir mercek gerekliydi. Bu mercekler bulun-

> Azizim Kepler, teleskopla bakmayı mütemadiyen reddeden okumuşlara ne dersiniz?
> **Galileo Galilei**

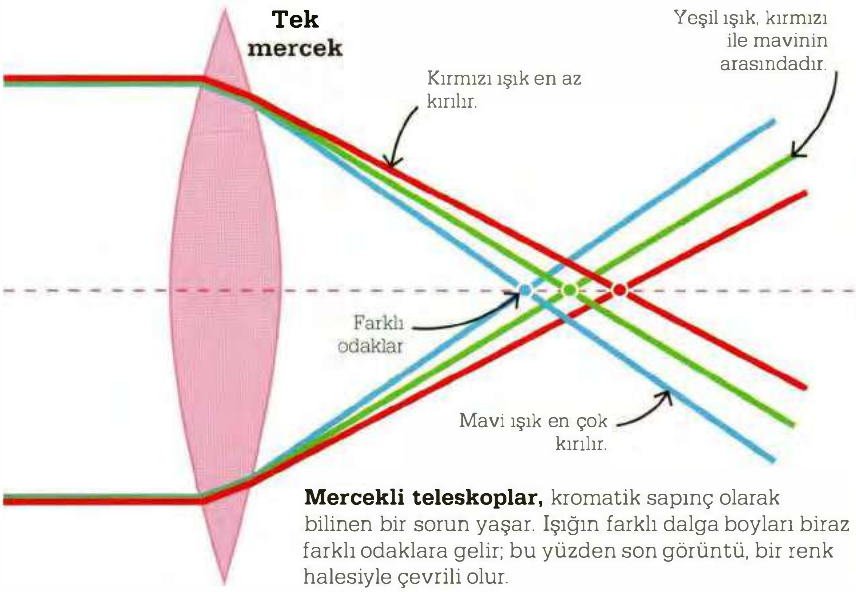
madığı için, Galileo kendisi mercekleri kesip parlatarak istediği mercekleri elde etti. O sırada dünyanın cam imalatı merkezi olan kuzey İtalya'da yaşamak, epeyce işine yaradı. Sonunda 33 kat büyüten yeni bir teleskop geliştirdi ve Jüpiter uydularını bu gelişmiş aletle keşfetti.

"Üç küçük yıldız"

Galileo, Jüpiter gezegeninin uydularını 7 Ocak 1610 gecesi keşfetti. İlk önce uzak yıldızlara bakmakta olduğunu sandı ama çok geçmeden, yeni cisimlerin Jüpiterin etrafında döndüklerini anladı. O sırada Galileo, Venedik'e yakın Padua Üniversitesinde 45 yaşında bir matematik profesörüydü. Teleskopla yaptığı gözlemlerini yayımladığında şunları yazdı: "Jüpiter küçük bir dürbünden kendini gösterdi. Kendime üstün bir alet hazırlamış olduğum için, onun yanında üç küçük –küçük ama çok parlak– yıldızın konumlandığını gördüm (diğer aletlerin zayıflığından ötürü daha önce olmamış bir şey). Sabit yıldız olduklarına inanmama rağmen, tam olarak düz bir hat boyunca sıralanmış ve tutulma dairesine paralel gibi göründükleri için ilgimi çektiler..."

Tekrarlanan gözlemler

Galileo'nun beklenmedik keşfi, onu büyüledi. Gecelerce Jüpiter'i gözlemleyince, yeni yıldızların Jüpiter'in ötesinde, uzak göklerde olmadığı anlaşıldı. Bu yıldızlar, gökyüzünde yolunda giderken Jüpiter'e eşlik etmenin yanı sıra, onun etrafında da dönüyorlardı.



Mercekli teleskoplar, kromatik sapınç olarak bilinen bir sorun yaşar. Işığın farklı dalga boyları biraz farklı odaklara gelir; bu yüzden son görüntü, bir renk halesiyle çevrili olur.

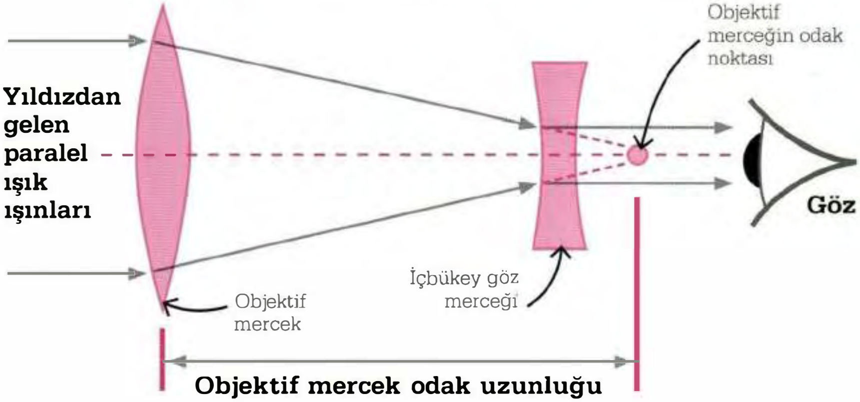
> Galileo'nun belki de ilk kez gökyüzünü fiilen olduğu gibi izleme deneyimi vardı.
> **I Bernard Cohen**

Galileo şunu anladı: Tıpkı Ay'ın her ay Dünya'nın etrafında dönmesi gibi, Jüpiter'in yörüngesinde de, Güneş'in etrafında dönerken onunla birlikte kalan dört uydu vardı. Daha uzak uyduların yörüngeyi tamamlaması, yakın olanlardan daha uzun zaman alıyordu. İçeriden dışarıya doğru bir yörüngeyi tamamlama zamanı sırasıyla 1,77, 3,55, 7,15 ve 16,69 gündür. Jüpiter uydu sistemi, Güneş'in gezegen sisteminin küçük bir modeline benziyordu. Bu, Copernicus öncesi dönemde sanıldığı gibi, kozmostaki her şeyin Dünya'nın etrafında dönmediğinin kanıtıydı. Bu dört uydunun gözlemlenmesi, Güneş-merkezli kozmos teorisine bir destekti.

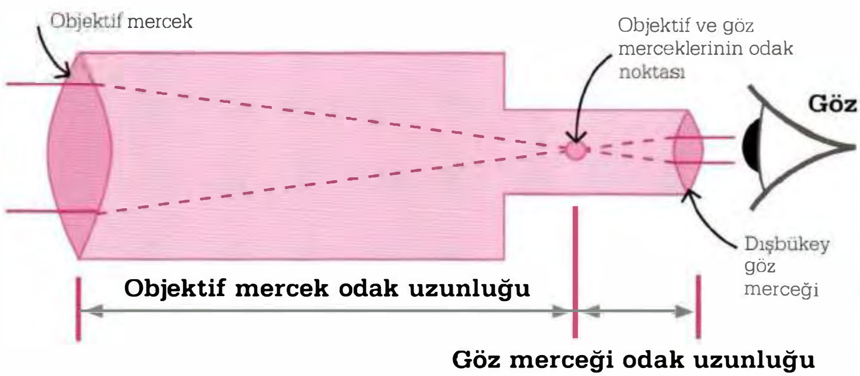
Galileo keşfini çabucak, 10 Mart 1610'da *Siderius Nuncius* (*Yıldızların Habercisi*) kitabında yayımladı. Galileo yükselme umuduyla kitabını, daha sonra Toscana Büyük Dükü olan eski öğrencisi II. Cosimo de' Medici'ye ithaf etti. Dört Medici kardeşin onuruna, uydulara Medici Yıldızları adını verdi. Bu siyasal düşüncelilik, ona Pisa Üniversitesinde Medicilerin Baş Matematikçisi ve Filozofu makamını kazandırdı. Ne var ki, bu isim tutmadı.

Başlangıçta birçok kişi kuşkulandı; uyduların teleskop merceklerin-

Galileo'nun teleskobunun, göz merceği olarak içbükey bir merceği vardı. Çok uzak bir gök cismine bakıldığı zaman, iki mercek arasındaki uzaklık, objektif merceğin odak uzunluğu ile göz merceğinin odak uzunluğunun farkına eşit olurdu.



Kısa süre sonra geliştirilen Kepler'in teleskobunun, göz merceği olarak dışbükey bir merceği vardı. Teleskobun uzunluğu, objektif merceğin odak uzunluğu ile göz merceğinin odak uzunluğunun toplamına eşitti.



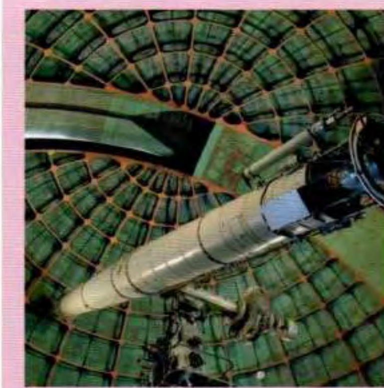
deki kusurlardan başka bir şey olmadığını öne sürdü. Ne var ki, Thomas Harriot, Gaultier de la Vatelle ve Nicolas-Claude Fabri de Peiresc gibi teleskop kullanan diğer astronomlar da, 1610'da Jüpiter Güneş'in arkasından geçtikten sonra tekrar gece gökyüzüne dönünce uyduların varlığını doğruladılar.

Tartışmalı öncelik

1614'te Alman astronom Simon Marius, Jüpiterin uydularını açıkladığı ve onları Galileo'dan önce keşfettiğini iddia ettiği *Mundus Iovialis*'i yayımladı. Galileo daha sonra Marius'u fikir hırsızlığıyla suçlayacaktı ama bugün, Marius'un aşağı yukarı aynı zamanda Galileo'dan bağımsız olarak keşfini yaptığı genellikle kabul edilmektedir. Marius uydulara, Roma tanrısı Jüpiter'in âşık olduğu kadınların adını, Io, Europa, Ganymedes ve Callisto adlarını verdi ve bu adlar hâlâ kullanılmaktadır. Şimdi toplu halde Galilei uyduları olarak bilinirler.

Jüpiter saati

Galileo, Jüpiter uydularının değişen konularını günden güne dikkatli bir biçimde inceledi. Gezegenler gibi



Mercekli teleskoplar

İlk mercekli teleskopların iki türü vardı: Galilei teleskobu ve 1611'de Johannes Kepler'in geliştirdiği Kepler teleskobu (*bkz.* solda). Her ikisinin de ön tarafında objektif denilen, uzun odaklı, geniş çaplı bir mercek vardı. Bu mercek, ışığı toplayıp bir odağa getiriyordu. Odaktaki görüntü, daha küçük, kısa odaklı göz merceği kullanılarak büyütülüyordu.

Aletin büyütme gücü, objektif merceğin odak uzunluğunun göz merceğinin odak uzunluğuna bölümüne eşitti. Daha yassı bir dışbükey objektif mercek kromatik sapıncı (*bkz.* karşı sayfa) azaltıyor, daha uzun bir odak uzunluğu ve sabit bir göz merceği için daha fazla büyütme sağlıyordu. Bu yüzden 17. yüzyılda teleskoplar daha uzun oldu. Galileo ve Kepler zamanında göz merceklerinin minimum odak uzunluğu yaklaşık 2-4 santimetreydi. Yani, 30 kat büyütmek için, odak uzunluğu 60-120 santimetre olan objektif merceklere ihtiyaç vardı. 1888'de California'da, Hamilton Dağında kurulan büyük James Lick Teleskobunun (yukarıda) merceği 90 santimetre, odak uzunluğu 17,37 metreydi.



onların konumlarının da, önceden hesaplanabileceği sonucuna vardı. Galileo, bu hesaplamanın doğru yapılabilmesi durumunda, sistemin evrensel bir saat gibi çalışacağını ve denizde boylam ölçme sorununu çözebileceğini gördü. Boylamı saptamak, zamanı söyleme yeteneğini gerektirir ve Galileo'nun döneminde, bir gemide çalışacak saatler yoktu. Jüpiter, Dünya'ya, Güneş'ten en az dört kat uzak olduğu için, Jüpiter sistemi Dünya'nın her tarafında aynı görünür; dolayısıyla bir "Jüpiter saati," her yerde çalışırdı. Boylam sorunu, İngiliz saatçi John Harrison'ın 1740 civarında doğru kronometreleri tanıtmasıyla birlikte çözüldü. Bu, Jüpiter'in uydularının yörüngeleri daha ayrıntılı ortaya çıkarılmadan önceydi.

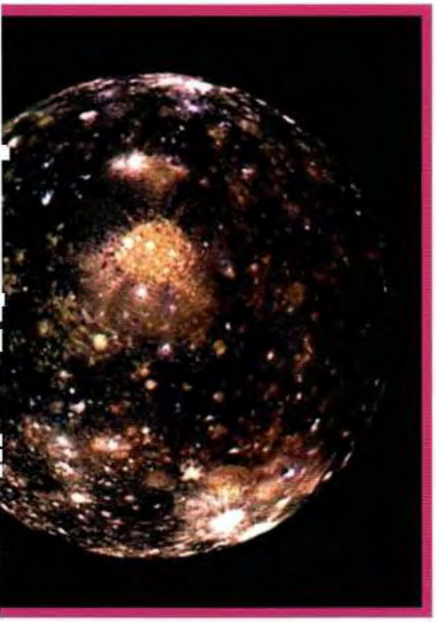
Galileo'nun Jüpiter'in etrafında dört uyduyu keşfetmesinin, ilginç bir sonucu daha oldu. Jonathan Swift 1726'da *Gülliver'in Gezileri*'ni yayımlayınca, Laputa üzerine bölümde, Dünya'nın bir ve Jüpiter'in dört uydusu olduğuna göre Mars'ın da iki uydusu olacağını öngördü. 1877'de Asaph Hall, Washington'da ABD Donanma Gözlemevinde 66 santimetrelik yeni bir mercekli teleskop kullanarak Mars'ın iki uydusunu, Phobos ve Deimos, keşfedince, bu öngörünün doğru olduğu kanıtlandı.

Copernicus'a destek

Galileo'nun zamanında, Dünya'nın kozmosun merkezinde durağan olduğunu öne süren eski Kitabı Mukaddes teorisine inananlar ile Dünya'nın Güneş'in yörüngesinde olduğunu söyleyen Copernicus'un görüşü arasında hâlâ hararetli bir tartışma vardı. Yer-merkezli (Dünya-merkezli) düşünce gezegenin eşsizliğini vurgulamaktaydı; gün-merkezli (Güneş-merkezli) öneri ise, Dünya'yı gezegen ailesinin yalnızca bir üyesi yapmaktaydı. Dünya'nın kozmosta ayrıcalıklı bir yer işgal etmediği varsayımı, şimdi Copernicus ilkesi olarak bilinmektedir.

> Kitabı Mukaddes gökyüzüne (cennete) gitmenin yolunu gösterir, gökyüzünün gittiği yolu değil.
> **Galileo Galilei**

İş artık bir teorinin doğru diğerinin yanlış olduğunu kanıtlayacak gözlemler bulmaya kalmıştı. Jüpiterin etrafında uyduların keşfedilmesi, Güneş-merkezli bir sisteme büyük destekti. Her şeyin Dünya etrafında dönmediği açıktı ama hâlâ yanıtlanmamış sorular vardı. Güneş-merkezli sistem doğruysa, Dünya hareket ediyor olmalıdır. Dünya her yıl Güneş'in etrafında dolaşmak zorundaysa, 30 km/sn'lik bir yörünge hızı olmalıydı. Galileo'nun zamanında Dünya'nın Güneş'e uzaklığı tam olarak bilinmiyordu ama Dünya'nın hızlı hareket etmesini gerektirecek kadar uzak olduğu açıktı ve insanlar bu hareketi idrak edemezler. Ayrıca yörünge devinimi, yıldızların her yıl yıldız paralaksı denilen bir fenomenle (s. 102) bir taraftan diğerine salını-



Galilei uyduları, Jüpiter'e en yakın olandan başlamak üzere, soldan sağa: Io, Europa, Ganymede ve Callisto. Ganymede, Merkür gezegeninden büyüktür.

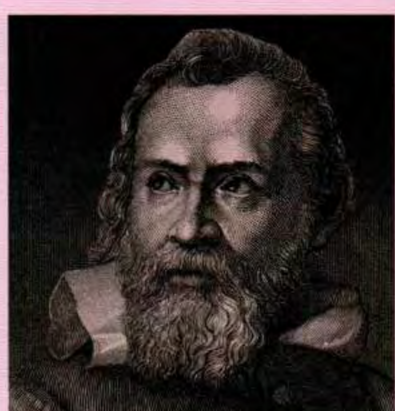
yor gibi görünmesini sağlamalıydı. Bu fenomen de o sıralar henüz gözlemlenmemişti. Galileo ve çağdaşları, Samanyolu'ndaki yıldızlar arasındaki tipik uzaklığın, Dünya ile Güneş arasındaki uzaklıktan 500.000 kat büyük olduğundan ve bu nedenle, yıldız paralaksının ölçülemeyecek kadar küçük olduğundan kuşkulanmadılar Ancak 19. yüzyılın ortasında büyük ölçüde gelişmiş aletler, bu salınımı saptamayı olanaklı kıldı.

Bu sorunlara rağmen Galileo, bulgularının, Kuşkuya yer bırakmayacak şekilde Copernicus'u haklı çıkardığını düşündü. Keşifleri arasında Venüs'ün evreleri (gezegen Güneş'in yörüngesindeyse açıklanabilen) ve Güneş'in kendi etrafında döndüğü (güneş lekelerinin hareketi bunu gösteriyordu) gerçeği de vardı. 1619'da Galileo'nun Copernicus'u hırçınca savunması, onu, 1616'da Güneş-merkezciliğin sapkınlık olduğunu ilan eden Kiliseyle çatışma içine çekmişti. 1633'te Engizisyonun huzuruna çıktı. Kitapları yasaklandı ve ömrünün son on yılını ev hapsinde geçirdi.

Yeni uydular

283 yıl boyunca Jüpiterin bilinen dört uydusu vardı. Beşinci uydu Amalthea, California'da Lick Gözlemevinde 91 santimetrelik mercekli bir teleskop kullanan Amerikalı astronom E. E. Bernard tarafından 1892'de keşfedildi. Doğrudan gözlemle keşfedilen son Güneş Sistemi uydusuydu. Daha sonra, fotoğraflar titizlikle incelenerek uydular bulunmuştur. Jüpiter'in bilinen uydularının sayısı, 1950'lerın ortasında 12'ye çıkmıştı ve şimdiyse, 67'ye ulaşmıştır. Gelecekte daha küçük uydular bulunabilir. ■

Galileo Galilei

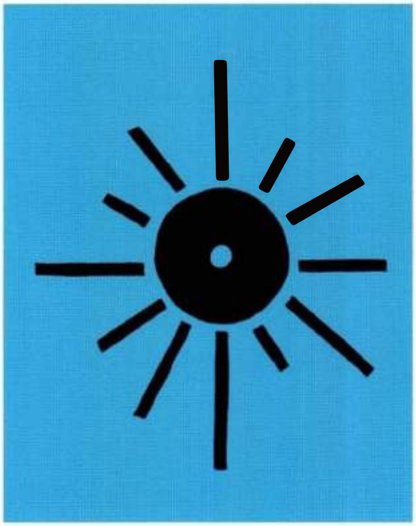


Galileo Galilei 15 Şubat 1564'te İtalya'da Pisa'da doğdu. 1589'da Pisa Üniversitesinde Matematik Kürsüsüne atandı; 1590'da Padua Üniversitesine geçti. Galileo, Avrupa'da şimdi Bilimsel Devrim olarak bilinen entelektüel ilerleme sürecinde çok önemli rol oynayan bir astronom, fizikçi, matematikçi, filozof ve mühendisti.

Mercekli teleskobu gökyüzüne çeviren ilk kişiydi. 1609-10'da Jüpiter gezegeninin dört uydusunun olduğunu, Venüs'ün evrelerden geçtiğini, Ay'ın dağlık olduğunu ve Güneş'in yaklaşık olarak ayda bir kez kendi etrafında döndüğünü keşfetti. Üretken bir yazardı ve bulgularını geniş bir alıcı kitlesine ulaştırdı.

Önemli Eserleri

1610 *The Starry Messenger*
1632 *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*
1638 *The Discourses and Mathematical Demonstrations Relating to Two New Sciences*



GÜNEŞ'İN ORTASINDA KUSURSUZ BİR DAİRESEL LEKE

VENÜS'ÜN GEÇİŞİ

KISACA

ASTRONOM
Jeremiah Horrocks
(1618–1641)

ÖNCE

MS Y. 150 Ptolemaios, Dünya-Güneş uzaklığını, Dünya'nın yarıçapının 1210 katı –8 milyon kilometre kadar– olarak hesaplar.

1619 Kepler'in üçüncü yasası, gezegen yörüngelerinin büyüklük oranlarını verir ama kesin değerler bilinmez.

1631 Fransız astronom Pierre Gassendi, Merkür'ün Güneş diskinden geçişini gözlemler; tarihte kaydedilen ilk gezegen geçişi.

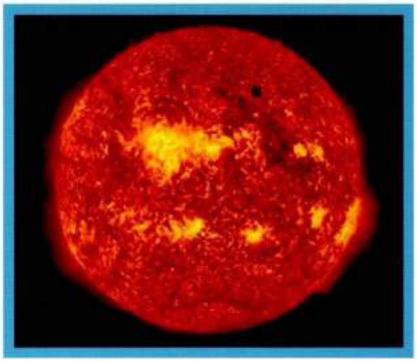
SONRA

1716 Edmond Halley, Venüs geçişinin doğru bir süre ölçümünün doğru bir Dünya-Güneş uzaklığını verebileceğini öne sürer.

2012 En son Venüs geçişi gerçekleşir. Sonraki iki geçiş 2117 ve 2125'te olacak.

1639'da 20 yaşında Jeremiah Horrocks adlı İngiliz bir astronom, Johannes Kepler'in hazırladığı cetvellerde yanlışlar bulduktan sonra Güneş'in yüzeyinden Venüs'ün bir geçişini öngördü. Geçişe yalnızca dört hafta vardı; bu yüzden Horrocks, iş arkadaşı William Crabtree'ye mektup yazıp, gözlem yapmasını istedi. 4 Aralık 1639'da Horrocks ve Crabtree, Güneş'in bir görüntüsünü teleskoptan bir düzleme odaklayan Güneş teleskoplarını birbirinden bağımsız olarak kurdu. Bir Venüs geçişine tanık olan ilk insan oldular.

Venüs Güneş diskinden geçerken, Horrocks gezegenin büyüklüğünü ve uzaklığını ölçmeye çalıştı. Dünya'da 76 yay-saniyelik bir açıya ($76/3600^0$) karşılık geldiğini ya da bu açıyı taradığını fark etti; bu, Kepler'in tahmin ettiği değerden küçüktü. Kepler'in üçüncü yasasından bilinen gezegen uzaklığı oranlarını kullanan Horrocks, Venüs diskinin Güneş'ten göründüğü şekliyle yaklaşık 28 yay-saniyelik bir açıya karşılık geldiğini hesapladı. Horrocks, 1631'de gerçekleşen bir Merkür geçişinin verilerini kullanarak, Merkür'ün Venüs'le aynı açıya karşılık geldiğini hesapladı. Bütün gezegenlerin Güneş'te aynı açıya karşılık geldiklerini tahmin etti ve Dünya'nın Güneş'e uzaklığını, 95 milyon kilometre olarak hesapladı.



Venüs'ün 2012'deki en son geçişi (Güneş diskinin sağ üst köşesinde küçük bir nokta), NASA'nın Solar Dynamics Observatory (Güneş Dinamikleri Gözlemevi) tarafından yakalandı.

Horrocks'un tahmininin, şimdi yanlış olduğu biliniyor. Dünya, Güneş'te 17,8 yay-saniyeye karşılık gelir ve bu da 150 milyon kilometre eder. Yine de, Güneş Sisteminin büyüklüğü konusunda makul ölçüde doğru bir düşünceye sahip ilk kişiydi. ■

Ayrıca bakınız: Eliptik yörüngeler 50-55 ■ Halley kuyrukluyıldızı 74–77



SATÜRN'ÜN ETRAFINDA YENİ UYDULAR

SATRÜN HALKALARINI GÖZLEMLEMEK

KISACA

ASTRONOM
Giovanni Domenico Cassini
(1625–1712)

ÖNCE
1610 Galileo, Jüpiter'in etrafında dört uydu keşfettiğini duyurur.

1655 Christiaan Huygens, Satürn'ün etrafında dönen ve Dünya'nın uydusundan yüzde 50 daha büyük olan bir uyduyu, Titan'ı keşfeder.

SONRA
1801 İlk asteroid, Mars ile Jüpiter arasında bir yörüngede keşfedilir.

1859 İskoç fizikçi James Clerk Maxwell, Satürn halkalarının, kütleçekim kuvveti altında dağılacakları için katı olamayacağını kanıtlar.

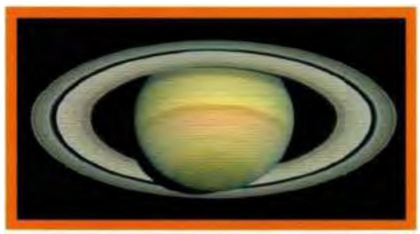
1960'dan itibaren Son on yıllarda Jüpiter ve Satürn etrafındaki yörüngeleri uzay araçları gitti ve Voyager 2, Uranüs'ün ve Neptün'ün yanından geçti. Çok sayıda uydu keşfedildi.

Bologna yakınlarında Panzano Gözlemevinde çalışan İtalyan astronom Giovanni Cassini'ye 1664'te, Romalı Guiseppe Campini'nin yaptığı son teknoloji ürünü mercekli bir teleskop verildi. Onunla Jüpiter'deki lekeleri ve kuşakları keşfetti, gezegenin spin periyodunu ve kutup basıklığını ölçtü, Jüpiter'in bilinen dört uydusunun yörüngeleriyle ilgili gözlemler yaptı.

Satürn'ü gözlemlemek

Cassini'nin parlak bir gözlemci olarak ünü, yeni Paris gözlemevinin tamamlanmasını denetleme daveti almasına neden oldu. Orada teleskobunu Satürn'e çevirdi; Satürn'ün en büyük uydusu Titan'ı, 1655'te Christiaan Huygens keşfetmişti. Cassini iki uydu daha keşfetti: 1671'de Iapetus, 1672'de Rhea. 1675'te Satürn halkalarında büyük bir aralık fark etti ve halkaların yekpare katı olmadığını, yörüngede dönen küçük cisimlerden oluştuğu sonucuna vardı. 1864'te daha soluk iki uydu keşfetti: Tetis ve Dione. Bu gözlemlerle Cassini, Güneş Sisteminde bilinen uyduların sayısına tek başına neredeyse iki katına çıkardı. Sayı o günden beri dramatik bir biçimde artmaktadır.

Jüpiter'in ve Satürn'ün, her birinin 60'tan fazla bilinen uydusu vardır. Dış Güneş Sistemindeki bu gaz devlerinin iki tip uydusu vardır: Büyük olanlar, gezegenle aynı zamanda oluşmuştur; küçük olanlar ise asteroid kuşağından yakalananlardır. İç Güneş Sisteminde Mars'ın iki tane yakalanmış asteroid uydusu vardır; Merkür'ün ve Venüs'ün uydusu yoktur. Dünya'nın bir tane büyük uydusu vardır, kütlesinin 1/81'i; astronomlar nasıl oluştuğundan henüz emin değildir. ■

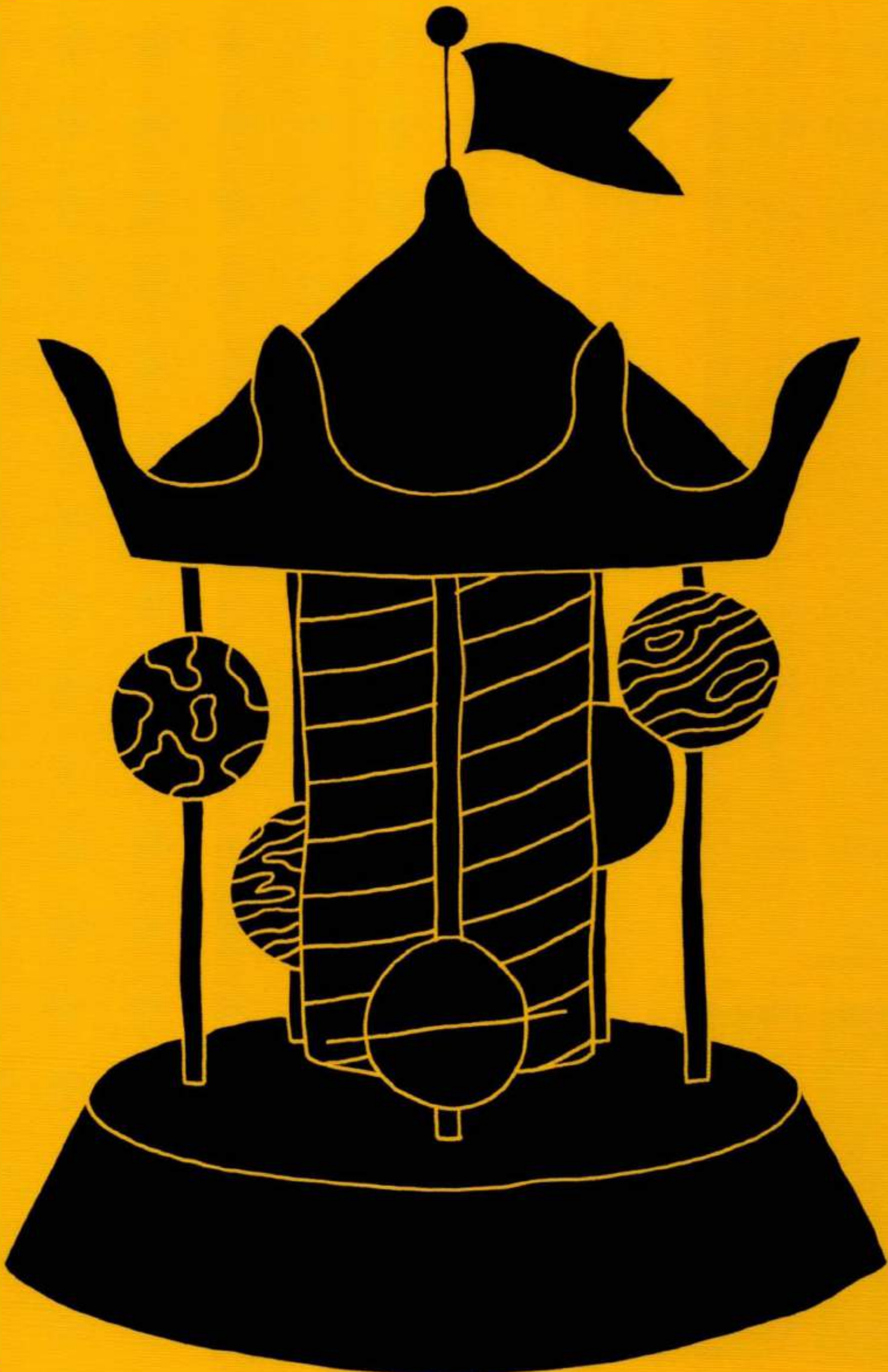


Satürn'ün halkalarında Cassini Bölümü denilen en büyük aralık, dış A-halkasını iç B-halkasından ayırır. Genişliği 4800 kilometredir.

Ayrıca bakınız: Galileo'nun teleskobu 56-63 ■ Ay'ın kökeni 186-87 ■ Huygens (Rehber) 335

KÜTLEÇEKİM GEZEGENLERİN DEVİNİMİNİ AÇIKLAR

KÜTLEÇEKİM TEORİSİ



KISACA

ASTRONOM
Isaac Newton (1642–1726)

ÖNCE
1609 Johannes Kepler, Mars'ın eliptik bir yörüngesi olduğunu gösterir.

SONRA
1798 Henry Cavendish, ilk kez kütleçekim sabitini ölçer.

1846 Fransız matematikçi Urbain Le Verrier, Newton'un yasalarını kullanıp, Neptün gezegeninin konumunu hesaplar.

1915 Albert Einstein genel göreliliği tanıtır ve kütleçekim kuvvetini uzayzaman eğrisinin bir fonksiyonu olarak açıklar.

2014 Kütleçekim sabiti, atomların davranışı incelenerek ölçülür. En son rakam, 66719 × 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2} olarak verilmektedir. Bu rakam, Henry Cavendish'in hesapladığı değerden yaklaşık yüzde 1 küçüktür.

Kütleçekim, iki kütle arasındaki çekim kuvvetine verilen addır. Bütün nesneleri Dünya'ya çeken, onlara ağırlık kazandıran bu kuvvettir. Nesneleri aşağıya, Dünya'nın merkezine doğru çeker. Eğer nesne Dünya'dan çok daha küçük bir kütle olan Ay'da olsaydı, kuvvet altı kat daha az olur ve o nesnenin ağırlığı, Dünya'daki ağırlığının altıda biri olurdu. İngiliz fizikçi, astronom ve matematikçi Isaac Newton, kütleçekimin bütün nesneleri etkileyen evrensel bir kuvvet olduğunu ve gezegenlerin hareketlerini açıkladığını kavrayan ilk kişiydi.

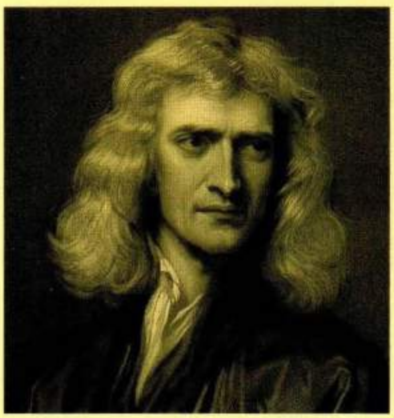
Yörüngeleri açıklamak

Gezegen yörüngelerinin şekli, Newton'un zamanında, Johannes Kepler'in tanıttığı gezegen deviniminin üç yasası temelinde zaten biliniyordu. Kepler'in birinci yasasına göre, bu yörüngeler elipsti ve elipslerin bir odağında Güneş bulunmaktaydı. İkinci yasaya göre, gezegenler Güneş'e yakınken yörüngelerinde daha hızlı, uzakken daha yavaş hareket ediyorlardı. Üçüncü yasa ise, bir yörüngeyi tamamlamak için geçen zaman ile Güneş'ten uzaklık arasındaki ilişkiyi tarif etmekteydi: Bir yörünge için geçen zamanın karesi, gezegen ile Güneş arasındaki ortalama uzaklığın üçüncü kuvvetine eşitti. Örneğin, Dünya Güneş'in etrafını bir yılda dönerken, Jüpiter'in Güneş'e uzaklığı Dünya'nın uzaklığının 5,2 katıdır. 5,2'nin üçüncü kuvveti 140'a eşittir ve 140'ın karekökü, bir Jüpiter yılının doğru rakamını verir: 11,86 Dünya yılı.

Bununla birlikte, Kepler gezegen yörüngelerinin şekillerini ve hızlarını doğru keşfetmiş olmasına rağmen, gezegenlerin neden öyle hareket ettiklerini bilmiyordu. 1609'da yayımladığı kitabı *Astronomia Nova*'da Mars'ın, arabalı bir melek ta-

> Şahsen ben, büyük hakikat okyanusu önümde keşfedilmemiş duruyorken, kumsalda oynayan bir çocuktan başka bir şey değilim.
> **Isaac Newton**

Isaac Newton



Isaac Newton 25 Aralık 1642'de Lincolnshire'da, Woolsthrope'de bir çiftlikte doğdu. Grantham'daki okuldan sonra Trinity College Cambridge'e gitti; orada öğretim üyesi olup, fizik ve astronomi dersleri verdi. *Principia* kitabı, kütleçekimin ve gök mekaniğinin ilkelerini ortaya koyar.

Newton aynalı teleskobu icat etti; optik, prizmalar ve beyaz ışık tayfı üzerine tezler yazdı; kalkülüsün kurucularından biriydi; cisimlerin soğumasını araştırdı. Dünya'nın şeklinin neden basık olduğunu ve ekinoksun neden hareket ettiğini açıkladı; ses hızı fiziğini biçimlendirdi. Kitabı Mukaddes kronolojisine ve simyaya çok zaman harcadı. Newton çeşitli zamanlarda Royal Society'nin Başkanı, Kraliyet Darphanesinin Müdürü, Cambridge Üniversitesinin parlamento temsilcisi oldu. 1727'de öldü.

Önemli eserleri

1671 *Method of Fluxions*
1687 *Philosphiae Naturalis Principia Mathematica*
1704 *Optics*

Ayrıca bakınız: Eliptik yörüngeler 50-55 ▪ Halley kuyrukluyıldızı 74-77 ▪ Neptün'ün keşfi 106-07 ▪ Görelilik teorisi 146-53 ▪ Lagrange (Rehber) 336



1680'de ve 1681'de görünen **Büyük Kuyrukluyıldız.** John Flamsteed aynı kuyrukluyıldız olduğunu öne sürdü; Newton kabul etmedi ama Flamsteed'in verilerini inceledikten sonra fikrini değiştirdi.

rafından yörüngesinde taşındığını öne sürdü. Bir yıl sonra fikrini değiştirip gezegenlerin mıknatıs olduğunu ve dönen Güneş'ten uzanan manyetik "kollar" tarafından çekildiklerini öne sürdü.

Newton'un içgörüsü

Newton'dan önce, İngiliz Robert Hooke ve İtalyan Giovanni Alfonso Borelli de dahil, birçok bilim insanı, Güneş ile bireysel gezegenler arasında bir çekim kuvveti olduğunu öne sürdü. Uzaklıkla birlikte kuvvetin azaldığını da ifade ettiler.

9 Aralık 1679'da Hooke, Newton'a mektup yazıp, kuvvetin uzaklığın karesiyle ters orantılı olabileceğini söyledi. Ne var ki, Hooke bu düşünceyi yayımlamadı ve önermeyi tam olarak tanıtlayacak matematik becerilerine sahip değildi. Newton ise, aksine, çekim kuvvetinin ters kare yasasının eliptik bir gezegen yörüngesiyle sonuçlanacağını kanıtlayabildi.

Newton, Güneş ile gezegenler arasındaki çekim kuvveti (F) kesin olarak aralarındaki uzaklığın (r) karesiyle ters orantılı olarak değişiyorsa, bunun gezegen yörüngelerini ve Kepler'in üç yasasına neden uyduklarını eksiksiz açıkladığını matematiği kullanarak tanıtladı. Bu matematiksel olarak şöyle yazılır: $F \propto 1/r^2$. Yani nesneler arasındaki uzaklığın iki katına çıkması, çekim kuvveti gücünü başlangıçtaki kuvvetin dörtte biri oranında azaltır.

Büyük Kuyrukluyıldız

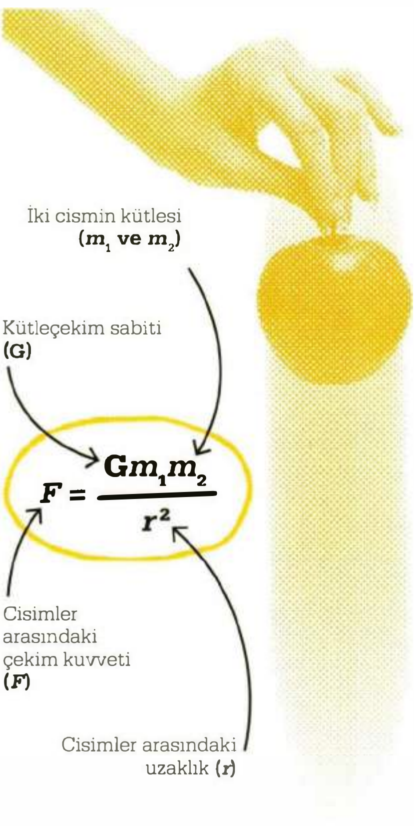
Newton utangaç, içine kapanık bir kişiydi ve buluşunu yayımlamak istemedi. İki şey onu yapmaya zorladı. İlki, 1680'in Büyük Kuyrukluyıldızı, ikincisi astronom Edmond Halley'di.

1680'in Büyük Kuyrukluyıldızı 17. yüzyılın en parlak kuyrukluyıldızıydı –o kadar parlak ki, kısa bir süre gündüz de görülebildi. İki kuyrukluyıldız görüldü: Biri Kasım ve Aralık 1680'de Güneş'e yaklaşıyordu; diğeri, 1680 Aralık sonu ile 1681 Martı arasında Güneş'ten uzaklaşıyordu. O zamanki bütün kuyrukluyıldızlar gibi, bunun yörüngesi de bir sırdı ve iki görüntü, başlangıçta geniş kesimlerce aynı nesne olarak kabul edilmedi. Astronom John Flamsteed, Güneş Sisteminin dış kenarından gelen, Güneş'e dönen (görünmeyecek kadar Güneş'e yaklaşan) ve tekrar uzaklaşan aynı kuyrukluyıldızın görülmüş olabileceğini öne sürdü.

Halley kuyrukluyıldız yörüngelerinin gizemli biçiminden büyülendi ve arkadaşı Newton'la sorunu tartışmak üzere Cambridge'e gitti. Kuvveti ivmeyle ilişkilendiren yasasını ve kuvvetin gücünün uzaklığın karesiyle ters orantılı değiştiği ısrarını kullanan Newton, iç Güneş Sisteminden geçerken kuyrukluyıldızın yörüngesinin parametrelerini hesapladı. Bu atılım Halley'in o kadar çok ilgisini çekti ki, daha sonra 24 kuyrukluyıldızın daha yörüngesini hesapladı ve bir kuyrukluyıldızın (Halley Kuyrukluyıldızı) her 76 yılda bir Güneş'e geri döndüğünü kanıtladı. Belki de daha önemlisi, Halley, Newton'un çalışmalarından

o kadar etkilendi ki, onu bulgularını yayımlamaya güçlü bir biçimde teşvik etti. Bu teşvik, 5 Temmuz 1687'de Latince yayımlanan ve Newton'un devinim yasalarını, kütleçekim teorisini, Kepler'in üç yasasının kanıtlarını ve bir kuyrukluyıldızın yörüngesini hesaplamak için kullandığı yöntemi açıkladığı kitabı *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ile sonuçlandı.

Kitabında Newton yasasının evrensel olduğunu vurguladı –kütleçekim Evren'deki her şeyi uzaklığa aldırmadan etkiler. Annesinin yaşadığı Woolsthrope meyve bahçesinde elmanın başına nasıl düştüğünü, denizlerdeki gelgitleri, Ay'ın Dün-



Newton'un evrensel kütleçekim yasası, üretilen kuvvetin iki nesneni kütlesine ve aralarındaki uzaklığın karesine nasıl bağlı olduğunu gösterir.

Gezegenlerin eliptik yörüngeleri, nesneler arasındaki **uzaklığın karesi** oranında azalan bir **çekim kuvvetiyle** açıklanır.

Bu kuvvet evrenseldir ve bütün uzaklıklarda kütlesi olan bütün cisimler için geçerlidir.

Kütleçekim gezegenlerin devinimi açıklar ama onları neyin harekete geçirdiğini açıklamaz.

ya'nın etrafında dönüşünü, Jüpiter'in Güneş'in etrafında dönüşünü, hatta bir kuyrukluyıldızın eliptik yörüngesini açıklıyordu. Bahçede elmayı düşüren fizik yasasının, Güneş Sistemini şekillendiren ve yıldızlar ile uzak galaksiler arasında etkili olduğu daha sonra keşfedilecek yasayla aynıdır. Newton'un kütleçekim yasasının etkili olduğunu gösteren kanıtlar her yerdeydi. Yalnızca gezegenlerin nerede olduklarını açıklamakla kalmıyor, gelecekte nerede olacaklarını öngörmeyi de olanaklı kılıyordu.

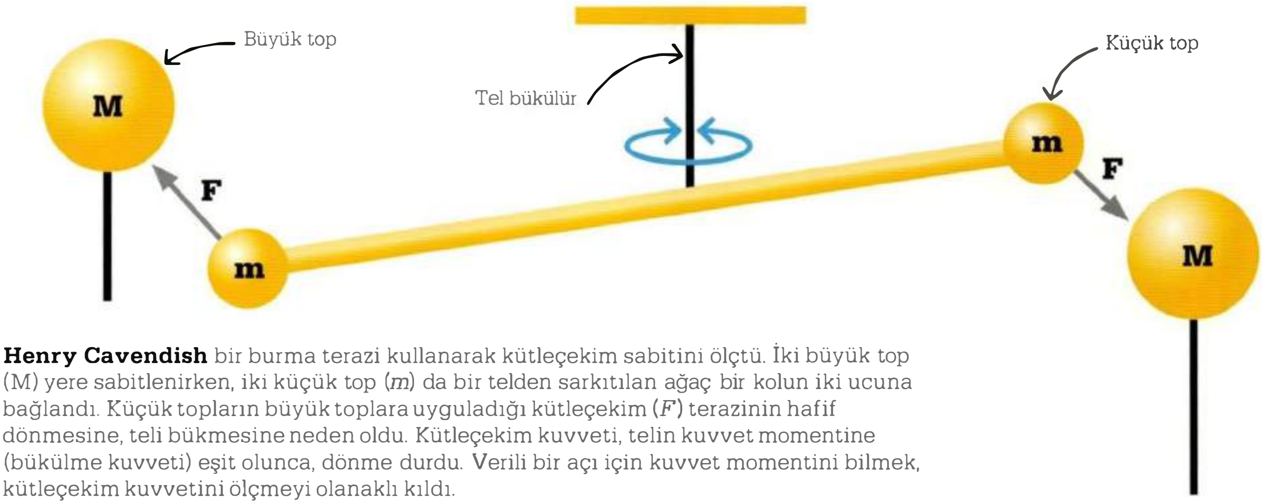
Orantılılık sabiti

Newton'un kütleçekim yasasına göre, kütleçekim kuvvetinin büyüklüğü, iki cismin birbiriyle çarpılıp aralarındaki uzaklığın (r) karesine bölünen kütleleriyle (m_1 ve m_2) orantılıdır (*bkz.* solda). Kütleleri her zaman birbirine çeker ve aralarında doğru bir çizgi boyunca etkili olur. Söz konusu nesne, Dünya gibi küresel olarak simetrikse, o zaman kütleçekim nesnenin merkezinde bir noktadan geliyormuş gibi ele alınabilir. Kuvveti hesaplamak için nihai bir değere ihtiyaç vardır –orantılılık sabiti, kuvvetin gücünü veren bir sayıdır: kütleçekim sabiti (G).

G'yi ölçmek

Kütleçekim zayıf bir kuvvettir ve bu yüzden, kütleçekim sabitini doğru bir biçimde ölçmek oldukça zordur. Newton'un teorisinin ilk laboratuvar testini, Newton'un ölümünden 71 yıl sonra 1798'de, İngiliz aristokrat bilim insanı Henry Cavendish gerçekleştirildi. Jeofizikçi John Michell'in önerdiği bir deney sistemini kopyaladı ve 5,1 ve 30 santimetre çapında iki kurşun top arasındaki kütleçekim kuvvetini başarıyla ölçtü (*bkz.* s.71). O günden sonra birçok kişi deneyi arıtmaya ve tekrarlamaya çalıştı. Bu, G'nin doğruluğunda yavaş bir iyileşmeye yol açtı. Bir kısım bilim insanı, G'nin zamanla değiştiğini öne sürdü. Ne var ki, yakın zamanda yapılan 1a süpernova analizi, son dokuz milyar yılda G'nin 10 milyarda birden daha az değiştiğini gösterdi. Uzak süperno-

> Doğa ve Doğanın yasaları karanlıkta gizliydi: Tanrı "Newton olsun!" dedi ve her şey aydınlandı.
> **Alexander Pope**



Henry Cavendish bir burma terazi kullanarak kütleçekim sabitini ölçtü. İki büyük top (M) yere sabitlenirken, iki küçük top (*m*) da bir telden sarkıtılan ağaç bir kolun iki ucuna bağlandı. Küçük topların büyük toplara uyguladığı kütleçekim (*F*) terazinin hafif dönmesine, teli bükmesine neden oldu. Kütleçekim kuvveti, telin kuvvet momentine (bükülme kuvveti) eşit olunca, dönme durdu. Verili bir açı için kuvvet momentini bilmek, kütleçekim kuvvetini ölçmeyi olanaklı kıldı.

vadan gelen ışık, dokuz milyar yıl önce yola çıkmıştı; bu durum, bilim insanlarının, uzak geçmişte olduğu şekliyle fizik yasalarını incelemelerine olanak verir.

Anlam arayışı

Kendi zamanının birçok bilim insanı gibi Newton da koyu dindardı, gözlemlerinin ve yasalarının arkasında dinsel bir anlam aradı. Güneş Sistemi, rastgele bir gezegen koleksiyonu olarak görülmüyordu ve özgül yörüngelerin büyüklüğünün, özel bir anlamı olduğu düşünülüyordu. Örneğin Kepler, "kürelerin müziği" kavramıyla anlam aramıştı. İlk önce Pisagor'un ve Ptolemaios'un öne sürdüğü düşüncelere dayanan Kepler, her gezegenin kendi yörüngesindeki hızıyla orantılı bir frekansa sahip işitilmez bir müzik notasından sorumlu olduğunu öne sürdü. Bir gezegen ne kadar yavaş hareket ederse, çıkardığı nota o kadar düşüktür. Komşu gezegenlerin ürettiği notalar arasındaki farkın, majör üçlü gibi müzik aralıkları olduğu ortaya çıktı.

Kepler'in düşüncesinin arkasında bilimsel bir meziyet vardır. Güneş Sistemi yaklaşık 4,6 milyar yaşındadır. Ömrü süresince, gezegenler ve uyduları birbirlerini kütleçekimle etkilediler ve müzik notalarının rezonansına benzer biçimde, rezonansa girerler. Jüpiter'in üç uydusuna bakarsak, Ganymede gezegenin etrafında bir tur atarken, Europa iki tur, Io dört tur atar. Zaman içinde, kütleçekimsel olarak bu rezonansa kilitlendiler.

Üç cisim problemi

Bir bütün olarak Güneş Sistemi, Jüpiter'in uydularına benzer oranda rezonansa girdi. Ortalama olarak her gezegenin, ondan hemen sonra Güneş'e daha yakın olan gezegenden yüzde 73 daha geniş bir yörüngesi vardır. Ama burada zor bir matematik problemi, Newton'un uğraştığı bir problem ortaya çıkar. Büyük kütleli bir cismin kütleçekim etkisi altında küçük kütleli bir cismin hareketi anlaşılabilir ve öngörülebilir. Ama üç cisim işin içine karışınca, matematik problemi son derece zorlaşır.

Ay-Dünya-Güneş, üç cisim sisteminin bir örneğidir. Newton bu sistemi düşündü ama matematiksel zorluklar aşılamadı ve uzak gelecekte Ay'ın nerede olacağına ilişkin insan bilgisi, hâlâ çok sınırlıdır. Halley kuyrukluyıldızının yörüngesindeki değişiklikler, Güneş'in kütleçekimine ek olarak gezegenlerinde kütleçekim alanlarının etkisi olduğunu gösteren başka bir işarettir. Yakın zamanda, Güneş'in, Jüpi-



Uzak süpernovalar, bugün, milyarlarca yıl önceki halleriyle görülürler. Yapılarının analizi, kütleçekim yasasının, bugün olduğu gibi o zaman da aynı G değeriyle çalıştığını gösterir.

ter'in, Satürn'ün ve diğer gezegenlerin kuyrukluyıldız üzerindeki birleşik kütleçekim etkisinden ötürü yörüngeler sırasıyla 76,0, 76,1, 76,3, 76,9, 77,4, 76,1, 76,5, 77,1, 77,8 ve 79,1 olarak alınmıştır.

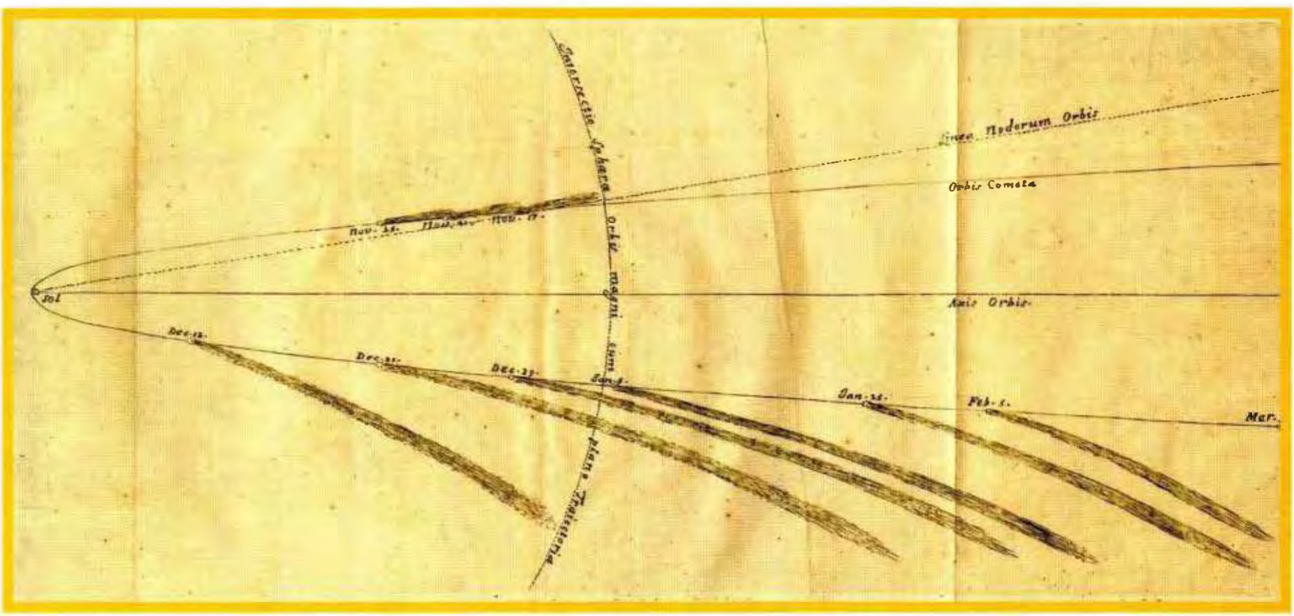
Gezegenleri şekillendirme

Newton bilimsel çalışmalarında dinsel anlam ararken, kütleçekim teorisinin arkasında hiçbir şey bulamadı. Gezegenleri harekete geçiren Tanrı'nın elini keşfetmedi ama Evren'i şekillendiren bir formül buldu. Evren'in neden göründüğü gibi olduğunu anlamanın anahtarı, kütleçekimin eylemidir. Örneğin, gezegenlerin küre şeklinde olmasından kütleçekim sorumludur. Eğer bir cismin yeterli kütlesi varsa, uyguladığı kütleçekim kuvveti, cismin malzemesinin gücünü aşar ve bir küre şeklinde içine çekilir. Mars'ın ve Jüpiter'in yörüngelerinin arasındaki asteroidtler gibi astronomik kaya cisimlerinin çapı 380 kilometreden (Hughes-Cole limiti) küçükse, şekilleri düzensiz olur.

> Kütleçekimin söz konusu özelliklerine neyin neden olduğuna dair hiçbir olgusal karşılık bulamadım ve buna ilişkin herhangi bir varsayım öne sürmüyorum.
> **Isaac Newton**

Bir gezegende gerçekleşebilen küreden sapmaların büyüklüğünden de kütleçekim sorumludur. Dünya'da, yüksekliği 8,8 kilometre olan Everest Dağından daha yüksek dağ yoktur; çünkü daha yüksek bir dağın kütleçekim ağırlığı altta yatan kaya mantonun gücünü aşar ve batardı. Daha düşük kütleli gezegenlerde nesnelerin ağırlığı daha düşüktür; bu yüzden dağlar daha büyük olabilir. Örneğin Mars'taki en yüksek dağ Olympus Mons'un yüksekliği, Everest'in neredeyse üç katıdır. Mars'ın kütlesi, Dünya'nın kütlesinin yaklaşık onda biridir ve çapı da Dünya'nın yaklaşık yarısıdır. Bu rakamları Newton'un kütleçekim formülüne yerleştirirsek, Mars'ın yüzeyinde bir ağırlığın Dünya yüzeyindekinin üçte birinden biraz fazla olduğu ortaya çıkar; Olympus Mons'un büyüklüğünün nedeni de budur.

Kütleçekim hayvanların büyüklüğünü sınırlayarak Dünya üzerindeki yaşamı da şekillendirir. En büyük kara hayvanları, ağırlıkları 40 tonu bulan dinozorlardı. Hayvanların en büyüğü balinalar, suyun ağırlıklarını desteklediği okyanuslarda bulunur. Gelgitlerden de kütleçekim sorumludur; Dünya'nın Güneş'e ve Ay'a yakın olan tarafında su Güneş'e ve Ay'a doğru kabardığı, Ay'ın ve Güneş'in kütleçekimnin daha zayıf olduğu diğer tarafta su çekildiği için gelgit meydana gelir. Güneş ile Ay aynı hizaya geldiğinde yük-



Büyük eseri *Principia*'da Newton, doğru gözlemler yaparak ve bu gözlemleri Dünya'nın devinimine izin verecek şekilde düzelterek Büyük Kuyrukluyıldızın parabolik yolunu çizdi.

> Kuyrukluyıldızların devinimi aşırı düzenlidir ve gezegenlerin devinimiyle aynı yasalara uyar.
> **Isaac Newton**

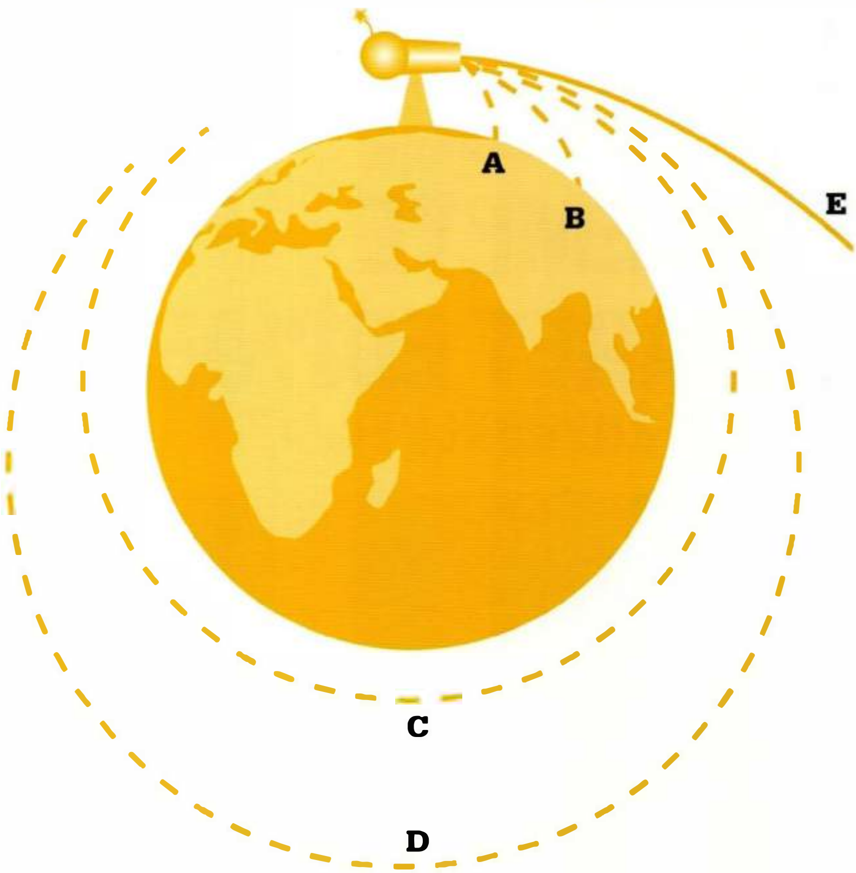
sek bir bahar gelgiti olur; birbirine dik açılarda olduklarında küçük gelgit olur.

Kaçış hızı

Kütleçekim insan hareketini köklü bir biçimde etkiler. Bir kişinin atlayabileceği yükseklik, yer düzeyindeki kütleçekim alanınca belirlenir. Newton, kütleçekim gücünün atmosferin ötesinde kolay yolculuğu etkileyeceğini anladı. Dünya'nın kütleçekiminden kaçış için, saatte 40.270 km hızla yol almak gerekir. Ay ve Mars gibi daha az kütleli cisimlerden uzaklaşmak daha kolaydır. Problemi tersine çevirirsek, bu kurtulma hızı aynı zamanda yeni bir asteroid ya da kuyrukluyıldızın Dünya yüzeyine çarptığında sahip olabileceği minimum hızdır ve bunun sonucunda ortaya çıkan kraterin büyüklüğünü etkiler.

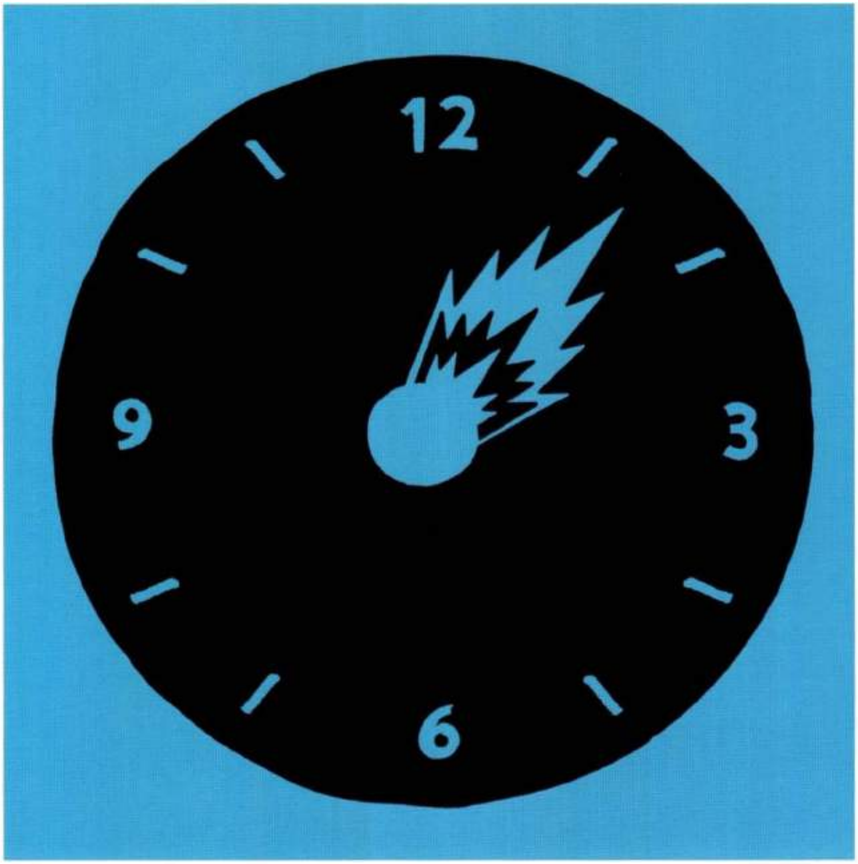
Bugün kütleçekimin, 1915'te Albert Einstein'ın önerdiği genel görelilik teorisiyle en doğru biçimde açıklandığı savunulur. Bu teori kütleçekimi bir kuvvet olarak değil, içindeki kütlenin eşitsiz dağılımından ötürü uzayzaman eğriliğinin bir sonucu olarak açıklar. Bununla birlikte, Newton'un kütleçekim kuvveti kavramı, pek çok durumda mükemmel bir yakınlaşmadır. Ancak Güneş'e yakın ya da büyük bir karadeliğin civarında olduğu gibi, kütleçekimnin çok güçlü olduğu yerlerde ya da aşırı kesinlik gerektiren durumlarda genel göreliliğe başvurmaya gerek vardır. Hızlanan büyük cisimler uzayzamanda dalgalar yaratabilir ve bu dalgalar ışık hızında yayılır. Bu kütleçekim dalgalarından birinin saptandığı, ilk kez Şubat 2016'da duyuruldu (s. 326-29). ■

Newton, yüksek bir dağdan yatay ateşlenen bir top düşünce deneyiyle kaçış hızını gösterdi. O yükseklikte yörünge hızından daha düşük hızlarda top mermisi yere düşer (A ve B). Tam yörünge hızında olursa, dairesel bir yörüngeye girer (C). Yörünge hızından yüksek ama kaçış hızından düşük hızlarda, eliptik bir yörüngeye girer (D). Yalnızca kaçış hızında uzaya fırlar.



KUYRUKLUYILDIZIN 1758 YILINDA GERİ GELECEĞİNİ SÖYLEMEYE CESARET EDİYORUM

HALLEY KUYRUKLUYILDIZI



KISACA

ASTRONOM
Edmond Halley (1656–1742)

ÖNCE
MÖ Y. 50 Aristoteles, kuyrukluyıldızların Dünya'nın üst atmosferinde hava fenomenleri olduğunu ifade eder.

1577 Tycho Brahe, gözlemlediği bir kuyrukluyıldızın Dünya atmosferinin çok dışında olması gerektiğini hesaplar.

SONRA
1758 Halley'in öngördüğü kuyrukluyıldız tam zamanında, son görüldüğünden 76 yıl sonra yeniden görünür.

1819 Alman astronom Johann Encke, her 3,3 yılda bir yeniden görünen ikinci bir periyodik kuyrukluyıldız keşfeder.

1950 Hollandalı astronom Jan Oort, Güneş Sisteminin büyük bir kuyrukluyıldız bulutuyla çevrili olduğunu ve yıldızların onların yörüngelerini bozabileceğini öne sürer.

16. yüzyılda ve 17. yüzyılın büyük bölümünde, gezegenlerin devinimini anlamada ilerlemeler kaydedildi ama kuyrukluyıldızların doğası gizemini korudu. En azından 1500'e kadar Avrupa'da kuyrukluyıldızlardan, felaket habercisi diye korkulurdu. Astronomlar, birkaç hafta ya da ay boyunca gökyüzünde yavaş hareket eden bu parlak ışık yamalarına ve uzun, güzel kuyruklarına aşinaydı ama nereden gelip nereye gittikleri konusunda bir fikirleri yoktu.

Ne var ki, 1577'de olağanüstü derecede parlak bir kuyrukluyıldız birkaç ay boyunca gece gökyüzünü aydınlatınca, işler değişti. Avrupa'nın farklı bölgelerinde alınan

Ayrıca bakınız: Tycho modeli 44-47 ▪ Eliptik yörüngeler 50-55 ▪ Kütleçekim teorisi 66-73



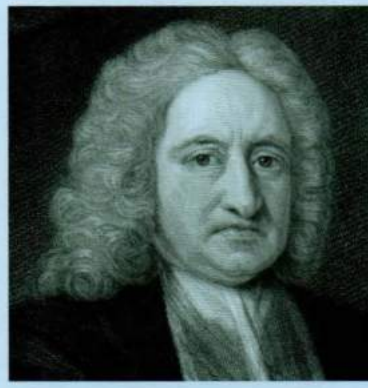
Halley kuyrukluyıldızı 1606'da göründü ve Bayeaux Duvar Halısında, korku içinde gökyüzünü işaret eden Anglosaksonlarla birlikte gösterilir. Görünmesi, bazılarınca İngiltere'nin düşüşünün habercisi sayıldı.

gözlem verilerini inceleyen Danimarkalı astronom Tycho Brahe, kuyrukluyıldızın Ay'dan en az dört kat daha uzakta olması gerektiğini hesapladı ve bu hesap, kuyrukluyıldızları kendi Evren modeline uydurmasına olanak verdi. Onları gezegenlerle aynı uzay bölgesinde serbest hareket edebilen nesneler olarak gördü. Ama Brahe'nin zamanında ve sonraki yıllarda üzerinde anlaşılmayan şey, kuyrukluyıldızların uzayda çizdiği yolların şekliydi. Brahe'nin eski öğrencisi Johannes Kepler, düz çizgide yol aldıklarına inanıyordu. Polonyalı astronom Johannes Hevelius, 1664 tarihli bir kuyrukluyıldızın Güneş'in etrafında kavisli bir yörüngede yol aldığını öne sürdü.

Newton kuyrukluyıldızlarla uğraşır

1680'den itibaren, o yıl özellikle parlak bir kuyrukluyıldızın görünmesiyle harekete geçen büyük İngiliz bilim insanı Isaac Newton, evrensel kütleçekim teorisini geliştirirken kuyrukluyıldız yörüngelerini de incelemeye başladı. Yeni teorisini kullanan Newton, 1680'de görülen kuyrukluyıldızı çözümledi ve gelecekte alacağı yolu öngördü. Kuyrukluyıldızların (gezegenler gibi), bir odağında Güneş olmak üzere elips şeklinde yörüngelere sahip oldukları sonucuna vardı. Ne var ki, bu elipsler o kadar esnemişti ki, parabol denilen açık uçlu bir eğriye yaklaşabilirdi. Newton haklı olsaydı, bir kuyrukluyıldız iç Güneş Sistemini ziyaret edip, Güneş'in etrafını dolaştıktan sonra ya bir daha asla geri dönmez (yörüngesi parabolse) ya da binlerce yıl geri dönmezdi (yörüngesi bir parabol değil, son derece esnemiş bir elipsse).

1684'te Newton, gezegenlerin ve kuyrukluyıldız gibi diğer gök cisimlerinin devinimine hangi kuvvetin neden olabileceğini tartışmak iste-



Edmond Halley

Edmond Halley 1656'da Londra'da doğdu. 1676'da Güney Atlantik'te St. Helena Adasına gitti; orada güney yarımkürenin yıldızlarının haritasını çıkardı ve döndükten sonra bir katalog ile yıldız haritaları yayımladı. 1687'de Isaac Newton'ı, kuyrukluyıldız yörüngelerinin nasıl hesaplanacağına ilişkin ayrıntılar da içeren *Principia*'yı yayımlamaya ikna etmeye yardımcı oldu.

Halley 1720'de Kraliyet Astronomu olarak atandı ve 1742'de ölene kadar Greenwich'te Kraliyet Gözlemevinde kaldı. Halley esasında bir astronom olarak hatırlanmasına rağmen, birçok alanda önemli çalışmalar yaptı. Dünya'nın manyetik alanındaki değişimler üzerine incelemeler yayınladı; bir dalgıç çanı icat etti ve denedi; yaşam sigortası primlerini hesaplama yöntemleri geliştirdi; eşi görülmemiş doğrulukta okyanus haritaları üretti.

Önemli eserleri

1679 *Catalogus Stellarum Australium*
1705 *Astronomiae cometicae synopsis*
1716 *An Account of Several Nebulae*

yen Edmond Halley adlı genç bir tanıdığı misafir etti. Newton, şaşkın ziyaretçisine konuyla kendisinin de ilgilendiğini ve sorunu çözdüğünü (yanıt, kütleçekimdi) ama bulgularını henüz yayımlamadığını anlattı. Bu buluşma, Newton'un kütleçekim ve devinim yasaları üzerine büyük kitabı *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*'yı Halley'in düzenlemesine ve yayınını finanse etmesine yol açtı.

Üç kuyrukluyıldızın, 1531, 1607 ve 1682, çok **benzer yörüngeleri** vardı.

↓

Yörüngelerindeki **küçük farklar, Jüpiter ve Satürn'ün kütleçekimiyle** açıklanabilir.

↓

Bu yüzden üç kuyrukluyıldız, her 75-76 yılda bir yeniden görünen **aynı kuyrukluyıldızdır.**

↓

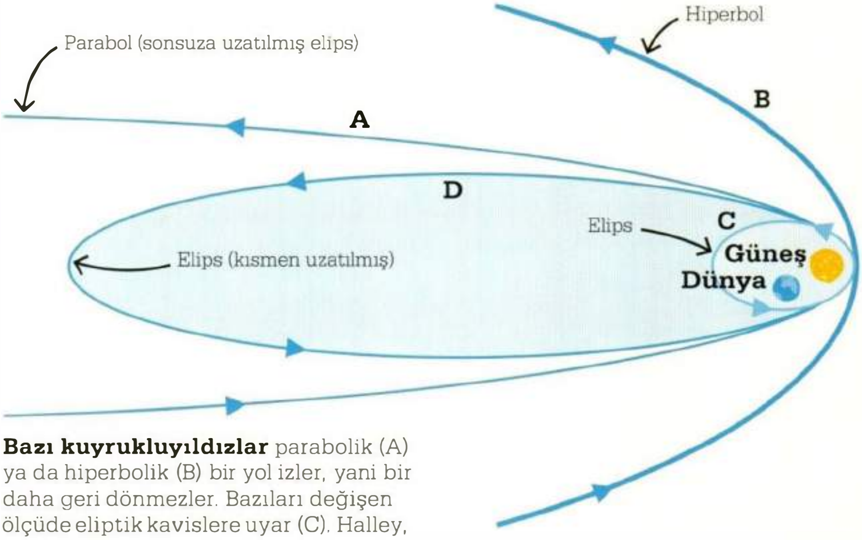
Kuyrukluyıldız 1758 civarında tekrar görünecektir.

Tarihsel kayıtlar

Halley, yeni teorisini daha fazla kuyrukluyıldız yörüngesini incelemeye uygulayabileceğini Newton'a önerdi. Ne var ki, Newton'un kafası başka konulara yönelmişti ve 1690'ların başından itibaren Halley, kendi ayrıntılı incelemesine devam etti. 10 yıllık bir dönemde 24 kuyrukluyıldızın yörüngesini inceledi – bazılarını kendisi gözlemlemişti, bazılarının verilerini tarihsel kayıtlardan almıştı. Bazı kuyrukluyıldızlar Newton'un öne sürdüğü gibi parabol (açık uçlu eğriler) yollar izlerken, bazılarının eliptik yörüngeler izlemesinden kuşkulandı; yani İç Güneş Sisteminden geçiyor olabilirlerdi ve dolayısıyla, bir kişinin ömründe birden fazla kez Dünya'dan görülebilirdi.

Araştırmaları sırasında Halley tuhaf bir şey fark etmişti. Genel olarak her kuyrukluyıldızın yörüngesinin, yıldızlara göre yönü gibi, onu diğer kuyrukluyıldızların yörüngelerinden açıkça ayırt eden birkaç karakteristiği vardı. Ne var ki, incelediği üç kuyrukluyıldız –biri 1682'de kendisinin gördüğü, diğer ikisi 1607'de Kepler'in ve 1531'de Petrus Apianus'un gözlemlediği– bariz ölçüde benzer yörüngeleri varmış gibi görünüyordu. Bunların, kapalı, eliptik bir yörüngede dolaşan aynı kuyrukluyıldızın, her 75 ila 76 yılda bir gerçekleşen yeniden görünmeleri olmasından kuşkulandı. 1705'te Halley, *Astronomiae cometicae synopsis (Kuyrukluyıldız Astronomisi-*

> Sıra dışı bilginleriyle ünlü bir çağda bile, Halley olağanüstü derinliği ve genişliği olan bir kişi olarak öne çıkar.
>
> **J Donald Fernie**
> ***Toronto Üniversitesinde Astronomi Profesörü***



Bazı kuyrukluyıldızlar parabolik (A) ya da hiperbolik (B) bir yol izler, yani bir daha geri dönmezler. Bazıları değişen ölçüde eliptik kavislere uyar (C). Halley, eğer bir kuyrukluyıldız kısmen uzatılmış eliptik bir kavisi izlerse (D) her 50 ila 100 yılda geri dönebileceğini öne sürdü.



En son 1986'da göründüğünde
Halley kuyrukluyıldızı, Dünya'nın 0,42 astronomik birimi içinde (AU) geçti. Daha yakın geçtiği de olmuştu. Örneğin 1066'da 0,1 AU içinde geldi.

nin Bir Özeti) başlıklı bir metinde düşüncelerinin ana hatlarını çizdi. Şunları yazdı: "Birçok irdeleme beni, 1531'de Apianus'un gözlemlediği kuyrukluyıldızın, 1607'de Kepler'in ve Longomontanus'un tarif ettiği ve 1682'de geri döndüğünde benim gözlemlediğimle aynı kuyrukluyıldız olduğuna inanmaya yöneltiyor. Bütün öğeler uyuşuyor. Bu yüzden, 1758 yılında geri geleceğini güvenle söyleyebilirim."

Bir belirsizlik, Halley'i hâlâ endişelendirmekteydi. Üç görünme arasındaki zaman aralıkları, tam olarak aynı değildi –yaklaşık bir yıllık fark vardı. Birkaç yıl önce Jüpiter ve Satürn üzerine yaptığı araştırmaları hatırlayan Halley, bu iki dev gezegenin kütleçekiminin kuyrukluyıldızı yolundan biraz saptırıp geciktirmesinden kuşkulandı. Halley, Newton'dan bu sorunu düşünmesini istedi ve Newton da, Halley'in öngörüsünü arıtmasını olanaklı kılan kütleçekim hesaplarıyla çıkıp geldi. Gözden geçirilip düzeltilen öngörüsüne göre, kuyrukluyıldız ya 1758'in sonunda ya da 1759'un başında tekrar görünecekti.

Halley'in haklı olduğu kanıtlanır

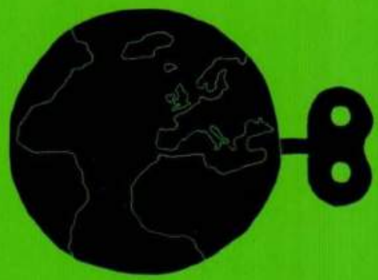
Halley'in öngörüsüne ilgi bütün Avrupa'ya yayıldı. Kuyrukluyıldızın öngörülen dönüş yılı yaklaştıkça, üç Fransız matematikçi –Alexis Clairaut, Jaseph Lalande ve Nicole-Reine Lepaute– birkaç zahmetli ayı, kuyrukluyıldızın ne zaman görüneceğini ve ilk kez nerede gece gökyüzünde görüleceğini hesaplamakla geçirdi. 1757'den itibaren amatör ve profesyonel astronomlar kuyrukluyıldızın dönüşünü kollamaya başladı. Sonunda 25 Aralık 1758'de, Almanyalı çiftçi ve amatör astronom Johann Palitzsch tarafından fark edildi.

Kuyrukluyıldız Mart 1759'da, Halley'in öngördüğünden iki ay geç, Güneş'e en yakın noktadan geçti. O sırada Halley öleli 17 yıl olmuştu ama kuyrukluyıldızın yeniden görünmesi, ölümünden sonra ona ün kazandırdı. Fransız astronom Nicolas-Louis de Lacaille, onun onuruna kuyrukluyıldıza Halley adını verdi.

Halley kuyrukluyıldızı, gezegen dışında Güneş'in etrafında döndüğü kanıtlanan ilk nesneydi. Newton'un kütleçekim teorisinin ilk kanıtlarından birini de verip, teorinin bütün gök cisimleri için geçerli olabildiğini tanıtladı. Bir zamanlar öngörülemez felaket alameti olarak korkulan kuyrukluyıldızlar, artık anlaşılıyordu.

Daha sonraki araştırmalar, kuyrukluyıldızın en az MÖ 240'tan beri düzenli olarak göründüğünü; MÖ 87, MÖ 12, MS 837, 1066, 1301 ve 1456'da özellikle parlak göründüğünü gösterdi. 1886'da bir uzay aracı kuyrukluyıldıza yaklaştı, çekirdeğinin (katı kısmı) ve kuyruğunun yapısına ilişkin veriler sundu. Çıplak gözle görülebilen ve bir insan ömründe iki kez görünen tek bilinen kısa-periyotlu kuyrukluyıldızdır (200 yıldan az bir yörüngesi olan kuyrukluyıldız). ■

> Kuyrukluyıldızların Ay-altı buharlardan başka bir şey olmadığını öne süren Aristoteles'in kanısı bugüne kadar egemen olduğu için, astronominin bu en yüce kısmı tamamen ihmal edilmiştir.
>
> **Edmond Halley**



BU KEŞİFLER, YÜZYILIN EN PARLAK VE EN YARARLI KEŞİFLERİDİR

YILDIZ SAPINCI

KISACA

ASTRONOM
James Bradley (1693–1762)

ÖNCE
17. yüzyıl Güneş-merkezli bir kozmosun genel kabulü, astronomları yıldız paralaksını –Dünya'nın hareketinin neden olduğu görünür yıldız hareketi– araştırmaya yöneltir.

1676 Danimarkalı astronom Ole Rømer, Jüpiter uydularına ilişkin gözlemleri kullanarak ışığın hızını hesaplar.

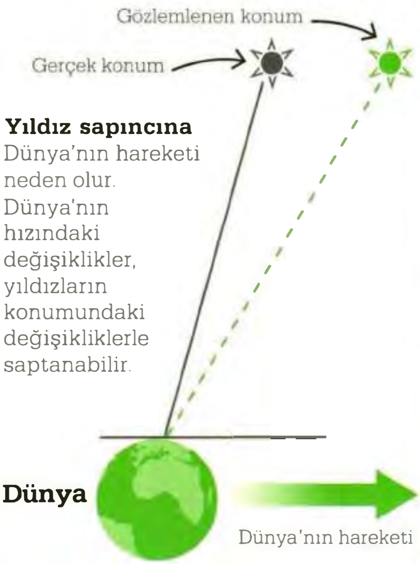
1748 İsviçreli matematikçi Leonhard Euler, nütasyonun (üğrüm) fiziksel nedeninin ana hatlarını çizer.

SONRA
1820 Alman optikçi Joseph von Fraunhofer, yıldız paralaksını incelemek için yeni tip bir helyometre (Güneş'in çapını ölçmek için bir düzenek) yapar.

1838 Friedrich Bessel, Kuğu 61 (61-Cygni) yıldızının paralaksını ölçer. Dünya'ya Güneş'ten 600.000 kat daha uzak olduğunu bulur.

1720'lerde, Oxfordlu astronom James Bradley, yıldızların görünür konumlarındaki değişiklikleri izleyerek Dünya'nın döndüğüne ilişkin kanıtlar ararken, bir başka kanıt sunan fenomen buldu – yıldız sapıncı. Işık sapması nesnelerin, hareket eden bir gözlemciye (bu durumda uzayda hareket eden Dünya) doğru sapıyormuş gibi görünmesine neden olur. Sapma açıları küçüktür: yıldızın yönüne dik Dünya'nın hızının ışık hızına bölünmesi kadar, yani en fazla 20 yay-saniye. Dünya saniyede yaklaşık 30 kilometre hızla hareket eder ama Güneş'in etrafında dönerken hem hızı, hem de yönü değişir. Sonuç olarak, bir yıldızın gözlemlenen konumu, gerçek konumunun etrafında küçük bir elipsi izler. Bradley bunu, Gamına Draconis yıldızında gözlemledi – Dünya'nın döndüğünün ilk çürütülemez kanıtı.

Yıldızların konumunda nütasyon (üğrüm) denilen periyodik bir değişiklik daha keşfetti. Sapınç gibi bu etki de küçüktür. Dünya'nın dönüş ekseni, uzaydaki yönelimini kademeli olarak değiştirir. En büyük değişiklik yalpalamadır ve tam bir döngünün tamamlanması, 26.000 yılı alır. Nütasyon, yalpalamada 18,6 yıl döngülü küçük bir sendelemedir. Hem yalpalamaya hem de nütasyona, Ay, Dünya ve Güneş arasındaki kütle-çekimsel etkileşimler neden olur. Bradley keşfini, 20 yıllık gözlemlerden sonra 1748'de açıkladı. ■



Yıldız sapıncına Dünya'nın hareketi neden olur. Dünya'nın hızındaki değişiklikler, yıldızların konumundaki değişikliklerle saptanabilir.

Ayrıca bakınız: Değişken yıldızlar 22 ▪ Yıldız paralaksı 102 ▪ Romer (Rehber) 335



GÜNEY GÖKYÜZÜNÜN BİR KATALOĞU

GÜNEY YILDIZLARI HARİTASI

KISACA

ASTRONOM
Nicolas-Louis de Lacaille
(1713–1762)

ÖNCE
MÖ 150 Ptolemaios, Akdeniz enlemlerinde görülebilen 48 takımyıldızı listeler.

1597 Hollanda Doğu Hindistan Şirketinin kurucularından Petrus Plancius, kâşif Keyser ve de Houtman'ın bulgularını kullanıp, kendi gök kürelerine 12 yeni güney takımyıldızı ekler.

Y. 1690 Polonyalı astronom Johannes Hevelius'un kitabı *Prodomos Astronomiae*, hâlâ kullanılan yedi yeni takımyıldızı adlandırır.

SONRA
1801 Johann Bode'nin 20 yıldız haritasından oluşan koleksiyonu *Uranographia*, çıplak göze görünen yıldızlara ilişkin tamama yakın ilk rehberdir.

1910 Okul müdürü Arthur Norton, yüzyıl boyunca popüler olan kendi yıldız atlasını çıkarır.

Fransız astronom ve matematikçi Nicolas-Louis Lacaille, gezegenleri farklı yerlerden gözlemledikten sonra uzaklıklarını ölçmek için trigonometriyi kullanma düşüncesi vardı. Hesaplamalarına olası en uzun dayanağı sağlamak için Lacaille'ın Paris'te ve Ümit Burnunda eşzamanlı gözlemlere ihtiyacı vardı. Bu amaçla, 1750'de Güney Afrika'ya gitti ve Cape Town'da bir gözlemevi kurdu. Orada yalnızca gezegenleri gözlemlemekle yetinmedi, 10.000 güney yıldızının konumlarını da ölçtü. Sonuçları öldükten sonra, 1763'te *Coelum Australe Stelliferum*'da yayımlandı. Bunların astronomiye bıraktı en büyük miras olduğu anlaşıldı.

Güney yıldızları

Lacaille'ın incelediği gökyüzü bölümü Avrupa'da görülemeyecek kadar güneydedir ve gözlemlediği yıldızların hangi takımyıldızlarına ait olduğu belirlenmişti. Lacaille kataloğundaki yıldızları adlandırmak için, bugün hâlâ kabul edilen ve kullanılan 14 yeni takımyıldız tanıttı ve var olan güney takımyıldızlarının sınırlarını tanımladı. Güney Afrika'dan ayrılmadan önce Dünya'nın şeklini daha iyi anlamak amacıyla büyük bir araştırma projesi de yürüttü.

> Lacaille, güney yarımküredeki yıldız astronomisinin temelini attı.
> **Sir David Gill**

Lacaille doğru ölçümlerin değerini takdir eden gayretli ve becerikli bir gözlemciydi. Olağanüstü bir yetenek ve enerji sergileyip, en güneydeki gökyüzünün ayrıntılı bir şekilde incelenmesine öncülük etti. ■

Ayrıca bakınız: Bilgiyi pekiştirme 24-25 ▪ Güney yarımküre 100-01

URANÜ
NEPTÜ
1750–1850

S'TEN

N'E

1771

Fransız astronom **Charles Messier** bilinen 103 **bulutsunun** bir listesini hazırlar.

1781

William Herschel Uranüs'ü keşfettiğinde ilkin yeni bir kuyrukluyıldız bulduğunu sanar.

1783

İngiliz din adamı **John Michell**, "karanlık yıldızlar" dediği **kara delikler** kavramını önerir.

1786

Pierre-Simon Laplace, Güneş Sisteminin **dönen bir gaz kütlesinden** oluştuğunu öne sürer.

1794

Ernst Chladni kaya düşmesi raporlarını inceler ve kaya ile metal parçalarının **uzaydan düştüğü** sonucuna varır.

1801

Giuseppe Piazzi, asteroid kuşağındaki en büyük asteroid olan **Ceres'i** keşfeder.

18. ve 19. yüzyılları kesen 75 yıl içinde iki yeni gezegen keşfedildi ve bilinen büyük gezegenlerin sayısı sekize çıktı (Dünya dahil). Ne var ki, 1846'da Neptün'ün keşfedildiği koşullar, 1781'de Uranüs'ün tesadüfen tanımlanmasıyla sonuçlanan koşullardan çok farklıydı. Bu iki keşif arasında, Güneş Sisteminde çok sayıda başka cisim bulundu ve Güneş Sisteminin daha önce hayal edilenden çok daha fazla sayıda ve çeşitlilikte nesne barındırdığı görüldü.

Gözlem yeteneği

Briton William Herschel, birçok kişi tarafından, bütün zamanların en büyük optik astronomu sayılır. Çağdaşlarından daha iyi teleskoplar yaptı ve görünürde sınırsız bir kuvvet ve coşkuya sahip takıntılı bir gözlemciydi. Ayrıca kendi aile üyelerini, özellikle kendi başına bir astronom olarak kabul gören kız kardeşi Caroline'ı kendisini desteklemeye ikna etti.

William, Uranüs'ü fark ettiğinde bir gezegen aramıyordu ama yaptığı keşif, teleskop yapımındaki becerisinin ve gözlem yapmaya sistematik yaklaşımının bir sonucuydu; zaman içinde gezegenin hareketini bu sayede saptayabildi. Herschel çift ve çoklu yıldızları da inceledi, bulutsuları ve yıldız kümelerini katalogladı ve Samanyolu'nun yapısını haritalamaya çalıştı. Beklenmedik olana karşı her zaman uyanık olan Herschel, 1800'de Güneş'in tayfını incelerken tesadüfen kızılaltı ışınımı keşfetti. Daha iyi teleskoplar, gökyüzünün daha ayrıntılı incelenmesine yol açtı. William'ın oğlu John Herschel, babasının astronomi merakını miras aldı ve Güney Afrika'da beş yıl geçirip, babasının araştırmalarını tamamladı.

3. Rosse Kontu William Parsons, bulutsuların araştırılmasında bir sonraki büyük adımı attı. 1840'larda, Dünya'nın en büyük teleskobunu yapmaya koyuldu. Bu teleskopla,

> Doğanın bütün etkileri, az sayıda değişmez yasanın matematiksel sonuçlarından ibarettir.
>
> **Pierre-Simon Laplace**

1809

Fransız astronom **Jean Baptiste Joseph Delambre, ışık hızının** iyi bir tahminini verir.

1833

John Herschel, babasının kuzey gökyüzü incelemesini tamamlamak için, **güney gökyüzüne** ilişkin kapsamlı bir inceleme başlatır.

1838

Alman **Friedrich Bessel** 61 Cygni yıldızının **paralaksını** başarıyla ölçüp, Dünya'dan uzaklığının iyi bir yaklaşığını verir.

1845

Lord Rosse, şimdi Girdap Galaksisi denilen M51 bulutsusunun bir çizimini yapıp, **sarmal yapısını** gösterir.

1846

Neptün, Urbain Le Verrier'in matematikle öngördüğü konuma çok yakın keşfedilir.

1849

ABD'li astronom **Benjamin Apthorp Gould**, ***Astronomical Journal***'ı kurarak ABD astronomisine destek olur.

bazı bulutsuların (şimdi galaksi olduklarını biliyoruz) sarmal bir yapısı olduğunu keşfetti.

Daha fazla gezegen

Herschel'in Uranüs'ü keşfi, Güneş Sisteminde Mars ile Jüpiter'in yörüngeleri arasında bulunan geniş aralığa ilgiyi arttırdı. Diğer gezegenlerin düzenli mesafesi, o aralıkta bilinmeyen bir gezegen bulunduğunu gösteriyordu. Bu aralığın tek bir büyük gezegen tarafından değil, William Herschel'in "asteroidler" dediği sayısız küçük gezegen tarafından işgal edildiği anlaşıldı. İtalyan Giuseppe Piazzi, 1801'de yeni bir yıldız kataloğu için gözlem yaparken ilk asteroidi, Ceres'i, keşfetti. İzleyen altı yılda üç tane daha saptandı. Bir sonraki, 1845'e kadar bulunmadı; ondan sonra keşif hızı arttı.

Bu arada Alınan Ernst Chladni, Dünya'ya ulaşan meteoritlerin, uzaydan gelen kaya ve metal parçaları oldukları doğru sonucuna varmıştı. Açıkçası, Güneş Sistemi büyük bir cisim çeşitliliği içermekteydi.

Matematiğin gücü

Uranüs'ün şans eseri keşfedilmesinin aksine, Neptün'ün keşfi, matematiğin gücünün bir kanıtıydı. Astronomlar daha iyi teleskoplarla çalışırken, matematikçiler Newton'un kütleçekim teorisini, Güneş Sisteminin büyük cisimleri arasında kütleçekim kuvvetinin karmaşık etkileşimine uygulamanın pratik güçlükleriyle boğuşuyorlardı. 1801'de Alman matematikçi Carl Friedrich Gauss'un hesaplamaları Ceres'in yerini değiştirmeye olanak verirken, 1799 ile 1825 arasında Fransız Pierre-Simon Laplace gök mekaniği üzerine anıtsal bir eser üretti.

Çok geçmeden Uranüs'ün öngörülen yolunu izlemediği anlaşıldı. Bilinmeyen bir gezegenin çekiminden kuşkulanıldı. Laplace'ın eserini temel alan yurttaşı Urbain Le Verrier, keşfedilmemiş gezegenin olası konumunu öngörme sorununu ele aldı. Neptün, Le Verrier'in olduğunu düşündüğü yerin yakınında bulundu. İlk kez astronomların artık Güneş Sistemimin gerçek boyutu konusunda bir fikri vardı. ■



YERİNİ DEĞİŞTİRDİĞİ İÇİN BİR KUYRUKLUYILDIZ OLDUĞUNU ANLADIM

URANÜS'Ü GÖZLEMLEMEK

KISACA

ASTRONOM
William Herschel (1738–1822)

ÖNCE
1660'lar Isaac Newton ve diğerleri aynalı teleskopları geliştirir.

1690 John Flamsteed Uranüs'ü gözlemler ama onun bir yıldız olduğuna inanır.

1774 Fransız astronom Charles Messier, Herschel'in kendi araştırmasını başlatmasına esin kaynağı olan astronomik araştırmasını yayımlar.

SONRA
1846 Uranüs'ün yörüngesinde açıklanmayan değişimler, Fransız matematikçi Urbain Le Verrier'in sekizinci bir gezegenin –Neptün– varlığını ve konumunu öngörmesine yol açtı.

1930 ABD'li astronom Cylde Tombaugh dokuzuncu gezegen Plüton'u keşfeder. Küçük, buzlu dünyalar kuşağı Kuiper'in en parlak üyesi cüce bir gezegen olarak yeniden sınıflandırılmıştır.

Uranüs gözlemlendi ama gezegen olarak **tanınmadı**.

↓

Birkaç gün arayla gözlemler **hareket ettiğini,** yani bir **kuyrukluyıldız olabileceğini** gösterir.

↓

Hesaplamalar **yörüngesinin neredeyse daire olduğunu**, dolayısıyla bir **gezegen olması gerektiğini** gösterir.

↓

Yörüngesindeki düzensizlikler Güneş Sisteminde **sekizinci bir gezegenin** olabileceğine işaret eder.

Yedinci gezegen Uranüs çıplak gözle görülür ve eski Yunan Hipparkhos'un MÖ 128'de Uranüs'ü gözlemlediğine inanılır. 17. yüzyılda teleskopların gelişmesi, daha fazla görüşe yol açtı; İngiliz astronom John Flamsteed'in 1690'da gördüğü, 34-Tauri, bir yıldız olarak kaydedildi. 1750 ile 1769 arasında Fransız astronom Pierre Lemonier tarafından da birçok kez gözlemlendi. Ne var ki, gözlemcilerden hiçbiri, onun bir gezegen olduğunu hesaplamadı.

William Herschel Uranüs'ü 13 Mart 1781'de bir çoklu yıldız sistemi ararken gözlemledi. Dört gece sonra bir daha saptadı ve bu ikinci saptamada, etrafındaki yıldızlara göre konumunun değiştiğini fark etti. Kul-

Ayrıca bakınız: Değişken yıldızlar 22 ▪ Kütleçekim teorisi 66–73 ▪ Neptün'ün keşfi 106–07

> "Auriga ile Gemini arasındaki çeyrekte bulunan küçük yıldızla ve H. Geminorum'la karşılaştırdım ve ikisinden de çok daha büyük olduğunu gördüm.
> **William Herschel**

landığı teleskobun gücünü artırırsa, yeni cismin büyüklüğünün sabit yıldızlardan daha fazla arttığını da fark etti. Bu iki gözlem, onun bir yıldız olmadığına işaret etmekteydi ve keşfini Kraliyet Enstitüsüne sunduğunda, yeni bir kuyrukluyıldız bulduğunu duyurdu. Kraliyet astronomu Nevil Maskelyne Herschel'in keşfine baktı ve yeni cismin, bir kuyrukluyıldız kadar bir gezegen olmasının da olanaklı olduğuna karar verdi. İsveç kökenli Rus Anders Johan Lexell ve Alman Johann Elert Bode, birbirinden bağımsız olarak Herschel'in cisminin yörüngesini hesapladı ve bunun, kabaca Satürn'ün iki katı uzaklıkta, yörüngesi daireye yakın bir gezegen olduğun sonucuna vardı.

Gezegene ad verme

Herschel'in keşfi Kral III. George tarafından takdir edildi ve onu "Kralın Astronomu" olarak atadı. Maskelyne, Herschel'den yeni gezegene ad vermesini istedi ve o da, hamisinin onuruna Georgium Sidus (George'un Yıldızı) adını tercih etti. Neptün de dahil, başka adlar da önerildi; Bode de Uranüs adını öne sürdü. Onun önerisi, 1850'de İngiltere'nin Greenwich Gözlemevi Georgium Sidus adını terk edince, evrenselleşti.

Daha sonraki astronomların Uranüs'ün yörüngesine ilişkin yaptıkları ayrıntılı incelemeler, gözlemlenen yörüngesi ile Newton'un yasalarına göre öngörülen yörünge arasında tutarsızlıklar olduğunu gösterdi –daha uzakta, sekizinci bir gezegenin kütleçekim etkisiyle açıklanabilecek düzensizlikler. Bu durum, Urbain Le Verrier'in 1846'da Neptün'ü keşfetmesine yol açtı. ■



Herschel 2,1 metrelik bir mercekli teleskop kullanarak Uranüs'ü gözlemledi. Daha sonra 50 yıl boyunca Dünya'nın en büyük teleskobu olan 12 metrelik bir teleskop yapacaktı.

William Herschel



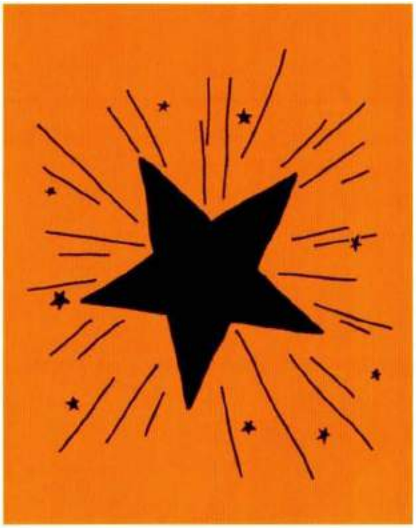
Almanya'da, Hanover'de doğan Frederick William Herschel, 19 yaşında müzik kariyeri yapmak üzere Britanya'ya göç etti. Müzik ve matematik çalışmaları, optiğe ve astronomiye ilgi duymasına yol açtı ve kendi teleskoplarını yapmaya koyuldu.

Herschel Uranüs'ü keşfettikten sonra, Satürn'ün iki yeni uydusu ile Uranüs'ün en büyük iki uydusunu saptadı. Güneş Sisteminin galaksinin geri kalan kısmına göre devinim halinde olduğunu da gösterdi ve çok sayıda bulutsu tanımladı. Herschel 1800'de Güneş'i incelerken, şimdi kızılaltı ışınım olarak bilinen yeni bir ışınım keşfetti.

Kız kardeşi Caroline (1750-1848), onun asistanı gibi aynaları parlatıp, kendisinin gözlemlerini kaydediyor ve düzenliyordu. Caroline 1782'de kendi gözlemlerini yapmaya başladı ve çok sayıda kuyrukluyıldız keşfetti.

Önemli eserleri

1781 *Account of a Comet*
1786 *Catalogue of 1,000 New Nebulae and Clusters of Stars*



YILDIZIN PARLAKLIĞI DEĞİŞTİ

DEĞİŞKEN YILDIZLAR

KISACA

ASTRONOM
John Goodricke (1764–1786)

ÖNCE
MÖ 130 Hipparkhos yıldızların görünür parlaklığı için, Ptolemaios'un *Almagest*'te popülerleştirdiği bir kadir ölçeği belirler.

1596 David Fabricius, Mira Ceti yıldızının düzenli periyodik aralıklarla parlaklığının değiştiğini keşfeder.

SONRA
1912 Henrietta Swan Leavitt, bazı değişken yıldızların periyodunun mutlak (gerçek) parlaklıklarıyla ilişkili olduğunu keşfeder.

1913 Ejnar Hertzsprung bu parlaklık değişikliğini sınıflandırıp, galaksilere uzaklığı hesaplamak için Sefeit değişkenlerinin "standart mum" olarak kullanılmasını olanaklı kıldı.

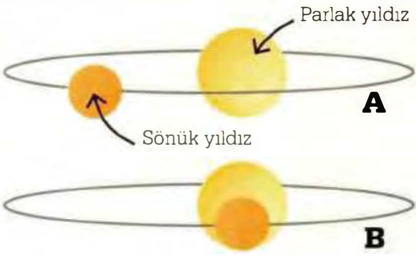
1929 Edwin Hubble bir galaksinin hızı ile uzaklığı arasındaki bağı tanımlar.

Yıldızları görünür parlaklıklarına –yani, Dünya'dan gözlemlendiği şekliyle parlaklıklarına– göre ilk sınıflandıranlar, eski Yunan astronomlardı. 18. yüzyılda Britanyalı amatör astronom John Goodricke, astronom komşusu Edward Pigott değiştiği bilinen yıldızların bir listesini verdikten sonra, görünür parlaklıkta meydana gelen değişikliklere ilgisi artmaya başladı. Gözlemleri sırasında daha fazla değişen yıldız keşfetti.

1782'de Goodricke, Perseus takımyıldızında parlak bir yıldız olan Algol'ün parlaklığındaki değişimi gözlemledi. Algol'ün aslında birbirinin etrafında dönen, biri diğerinden daha parlak iki yıldız olduğunu öne sürerek, bu parlaklık değişikliği için bir neden öneren ilk kişiydi. İki yıldızdan daha sönük olanı daha parlak olanın önünden geçtiğinde, tutulma gözlemcinin saptadığı parlaklığı azaltıyordu. Bugün buna, örten çift sistemi deniliyor (Şimdi, Algol'ün üç yıldızlı bir sistem olduğu biliniyor).

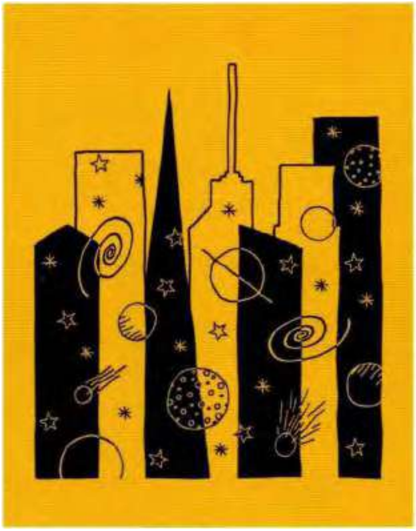
Goodricke, Cepheus takımyıldızında yer alan Delta Sefe yıldızının parlaklığının düzenli bir periyodla değiştiğini de keşfetti. Şimdi Delta Sefe'nin, yıldızın kedisi değiştiği için parlaklığı değişen yıldızlardan biri olduğu biliniyor. Bu tür yıldızlara Sefeit değişkenler deniliyor ve bunlar diğer galaksilere olan uzaklığı ölçmenin anahtarıdırlar.

Goodricke bulgularını 1783'te Kraliyet Enstitüsüne sundu. Kısa süre sonra, 21 yaşında zatürreden öldü. ■



Bir örten çift sisteminde her iki yıldız görünür olduğunda maksimum parlaklık gerçekleşir (A); sönük yıldız parlak yıldızı örttüğünde minimum parlaklık gerçekleşir (B).

Ayrıca bakınız: Yeni bir yıldız türü 48-49 ▪ Evren'i ölçmek 130-37 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172-77



BİZİM SAMANYOLUMUZ BİR KONUTTUR, BULUTSULARSA KENTLERDİR

MESSIER NESNELERİ

KISACA

ASTRONOM
Charles Messier (1730–1817)

ÖNCE
MÖ 150 Ptolemaios, bulutsu gibi görünen beş yıldız ve bir yıldıza bağlı olmayan bulutsu kaydeder.

964 İranlı astronom Abdurrahman es-Sufi, *Sabit Yıldızlar Kitabı*'nda birkaç bulutsu not eder.

1714 Edmond Halley, altı bulutsudan oluşan bir liste yayımlar.

1715 Nicolas Louis de Lacaille 42 bulutsu tanımlar.

SONRA
1845 Lord Rosse, bazı bulutsuların sarmal bir yapıya sahip olduğunu gözlemler.

1864 William Huggins 70 bulutsunun tayfını inceler ve bunların üçte birinin gaz bulutu, geri kalanların yıldız kütleleri olduğunu bulgular.

1917 Vesto Slipher sarmal bulutsuları uzak galaksiler olarak tanımlar.

18. yüzyıla gelindiğinde, görüntüleri birkaç yüz kat büyütebilen büyük teleskoplar üretiliyordu. Bu durum, astronomların bulutsu denilen puslu ışık yamalarını tanımlamalarına olarak verdi.

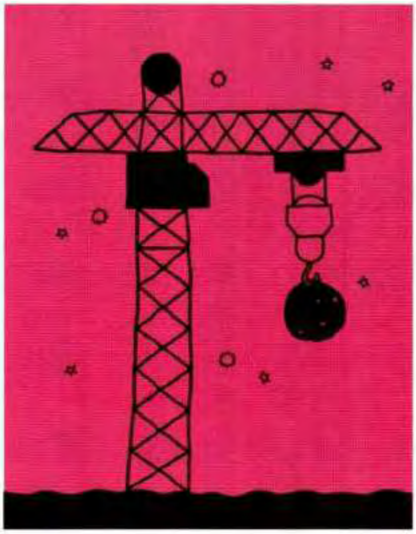
Fransız astronom Charles Messier öncelikle, çoğu kez bulutsulara benzeyen kuyrukluyıldız bulmakla ilgileniyordu. Puslu bir nesne, ancak haftalar ya da aylar içinde yıldızlara karşı konumu değişiyorsa, bir kuyrukluyıldız olarak tanımlanabilirdi. Bu nedenle Messier, potansiyel kuyrukluyıldızları elemek için, bilinen bulutsuların bir listesini hazırladı. İlk listesi 1774'te yayımlandı ve 45 bulutsu tanımlıyordu. 1784'teki son versiyon 80 nesne sıraladı. Bu bulutsular, şimdi Messier nesneleri olarak biliniyor. Diğer astronomlar, Messier'in gözlemlediği ama kataloğuna dahil etmediği bulutsuları ekleyip, toplam bulutsu sayısını 110'a çıkardı.

Daha güçlü teleskoplarla birlikte, Messier nesnelerinin doğasını belirlemek olanaklı oldu. Bazıları Samanyolu'nun ötesinde bulunan galaksilerdir,–bazıları yıldızların oluşmakta olduğu gaz bulutlarıdır– bazıları da süpernova patlamalarının kalıntıları ya da Güneş büyüklüğünde ölen yıldızların saçtığı gazdır. ■

Messier 31, Andromeda Galaksisi olarak da biliniyor. Samanyolu'na en yakın büyük galaksidir.



Ayrıca bakınız: Halley kuyrukluyıldızı 74-77 ▪ Güney yıldızları haritası 79 ▪ Bulutsuları incelemek 104-05 ▪ Bulutsuların öznitelikleri 114-15 ▪ Sarmal galaksiler 156-61



GÖKYÜZÜNÜN YAPISI ÜZERİNE

SAMANYOLU

KISACA

ASTRONOM
William Herschel (1738–1822)

ÖNCE
1725 İngiliz astronom John Flamsteed'in 3000 yıldızlık kataloğu yayımlanır; 1729'da da yıldız atlası çıkar.

1750 Thomas Wright, Güneş Sisteminin bir yıldızlar diskinin parçası olduğunu öne sürer.

1784 Charles Messier son bulutsu kataloğunu çıkarır.

SONRA
1833 John Herschel babasının çalışmalarını sürdürüp, güney yarımkürede yapılan gözlemleri de kapsayan sistematik bir gökyüzü haritası yayımlar.

1845 Lord Rosse, bazı bulutsuların sarmal bir yapıya sahip olduklarını gözlemler.

1864 William Huggins emisyon tayfını kullanarak, bazı bulutsuların yıldız kümesi olduklarını belirler.



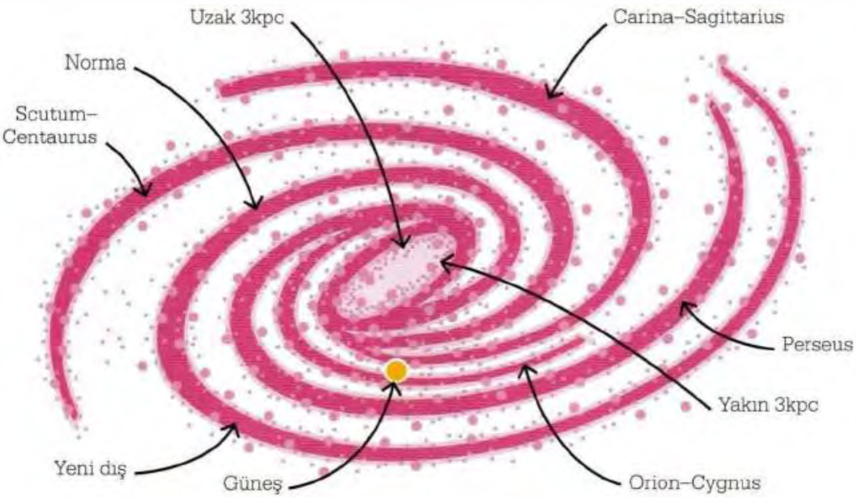
Dünya'dan Samanyolu, bireysel yıldızları çıplak gözle görülemeyen bir ışık kuşağı gibi görünür. Kuşak, galaksinin içeriden görülen disk şeklindeki yapısıdır.

Gökyüzünde çıplak gözle görülen en görkemli özelliklerden biri, Samanyolu denilen yoğun ışık kuşağıdır. Milyarlarca yıldızdan gelen bu ışık, ışık kirliliğinden ötürü bugün birçok kişi tarafından görülmez ama sokak aydınlatmasından önce herkesin gördüğü bir görüntüydü.

1780'lerde Britanyalı astronom William Herschel, yıldızları gözlemleyerek Samanyolu'nun şeklini ve Güneş'in onun içindeki konumunu belirlemeye çalıştı. Bu çabasında Herschel, 1750'de yıldızlar rastgele dağınık olmadıkları, Dünya'nın etrafında, kütleçekimle bir arada tutulan geniş bir halka oluşturdukları için ışık kuşağı gibi göründüklerini öne süren yurttaşı Thomas Wright'ın çalışmalarına dayandı.

Samanyolu Dünya'nın etrafını sarıyor gibi görünüyordu ve bu yüzden Herschel, galaksinin disk şeklinde olduğu sonucuna vardı. Farklı kadirde (parlaklık) çok sayıda yıldız gözlemledi ve bunların, Samanyolu kuşağı içinde her yöne eşit dağıldıklarını keşfetti. Bu durum, onu bir yıldızın parlaklığının Dünya'dan

Ayrıca bakınız: Meisser nesneleri 87 ▪ Güney yarımküre 100-01 ▪ Bulutsuların öznitelikleri 114-15 ▪ Sarmal galaksiler 156-61 ▪ Samanyolu'nun şekli 164-65



Samanyolu, merkezdeki kabarık "çubuk"tan dışarıya doğru sarmal yıldız kollardan oluşur. Kollar burada gösteriliyor. Güneş, merkezden 26.000 ışık yılı uzak Orion-Cygnus kolundadır.

uzaklığına işaret ettiğini, daha soluk yıldızların daha uzak olduklarını varsaymaya götürdü. Herschel'e göre eşit dağılım, Güneş Sisteminin galaksinin merkezine yakın olduğu anlamına gelmeliydi. Herschel'in modeli, diğer astronomlarca arıtıldı ama 20. yüzyılın başına kadar değiştirilmedi.

Yeni bulutsular

Herschel bir galaksinin şeklini araştırırken kendisini yıldızları incelemekle sınırlamadı. Bulutsuları, gökyüzündeki puslu ışık yamalarını da gözlemledi. Herschel bir astronom olmanın yanı sıra becerikli bir teleskop-imalatçısıydı da ve açıklıkları 126 ve 47 santimetre olan iki büyük, güçlü teleskop kullandı. 1782'den itibaren bu aletleri kullanarak "gökyüzünün derinliklerinde" sistematik gözlemler yapıp, yıldız olmayan nesneler aradı. Bunları bulutsu ya da yıldız kümeleri olarak listeledi ve 1786'da 1000 yeni nesnenin ayrıntılarını yayınladı; 1789'da ve 1802'de yeni kataloglar çıkardı. Herschel listelediği nesneleri parlaklıklarına, büyülüklerine, yoğun ya da dağınık yıldız kümelerinden oluşuyormuş gibi görünüp görünmemelerine göre sekiz kategoride sınıflandırdı. Pek çok bulutsunun doğası ve büyüklüğü bakımından Samanyolu'na benzediğini de tahmin etti –bulutsuların aslında kendi başlarına galaksi oldukları doğrulanmadan on yıllar önce.

Şu andaki Samanyolu modeli, çubuklu sarmal bir galaksidir. Sarmal galaksilerin üçte ikisinin, Samanyolu gibi merkezi çubukları vardır. İlk yıldız diski düşüncesi geniş anlamda doğrudur ama diskin içindeki yıldızlar, bir dizi sarmal kol şeklinde düzenlenmiştir; Güneş, Orion-Cygnus kolunun seyrek bir alanında bulunmaktadır. ■

> Işığı Dünya'ya ulaşması iki milyon yıl alan yıldızları gözlemledim.
> **William Herschel**





KAYALAR UZAYDAN DÜŞÜYOR

ASTEROİDLER VE METEORİTLER

KISACA

ASTRONOM
Ernst Chladni (1756–1827)

ÖNCE
1718 Isaac Newton, gezegenlerin arasında hiçbir şey var olamaz önerisinde bulunur.

1771 Güney İngiltere'de Sussex'in üzerinde görkemli bir ateş topunun geçtiği kaydedilir ve kuzey Fransa'da da görülür.

SONRA
1798 Britanyalı kimyacı Edward Howard ve Fransız mineralog Jacques-Louis de Bournon, İtalya'da, İngiltere'de ve Hindistan'da düşen meteoritlerden kalan taş ve demir parçalarını analiz eder. Taşlarda benzer oranlarda nikel buluyorlar; bu da, aralarında bir bağa işaret eder.

1801 Giuseppe Piazzi asteroid kuşağındaki en büyük nesne olan ve şimdi bir cüce gezegen olarak sınıflandırılan Ceres'i keşfeder.

18. yüzyılda, şimdi meteorit denilen şeylerin gerçek kaynağı ve doğası bilinmiyordu. Gezegenler arası uzayın boş olduğu düşünülüyordu ve gökyüzünden düşen yanıcı kaya ve demir topakların, ya Dünya'daki volkanların yukarıya fırlatmasından ya da atmosferdeki tozlardan kaynaklandığına, belki şimşeğin neden olduğunu inanılıyordu.

Bu düşünce, gezegenlerin ve kuyrukluyıldızların düzenli yörüngelerinde engelsiz hareket etmeleri için "göğün tüm maddeden boşaltılmasının zorunlu" olduğunu yazan Isaac Newton'a dayandırılabilir. 1790'ların başında Ernst Chladni adlı Alman bir fizikçi, tarihsel kayıtları inceleyerek bu "düşen taşlar"ın sırrını çözmeye kalkıştı. İncelediği taşlardan biri 1768'de Fransa'ya düşmüş ve orada kimyasal analize tabi tutulmuştu. Sonuçlar, şimşek çakmış ve havaya fırlamış bir topak kumtaşından oluştuğunu gösteriyordu. Chladni daha sonra, 1772'de bulunan ve 700 kilodan fazla bir kütlesi olan bir nesneyi inceledi. Engebeli bir yüzeyi vardı, oyuklarla doluydu ve bulunduğu arazinin kayalarına hiç benzemiyordu. Eridiği de çok açıktı.

Uzaydan düşme

Chladni, ne şimşeğin ne de bir orman yangınının bir anakayayı (gevşek çökellerin altında yatan yekpare kaya) eritmeye yetecek kadar ısı üretemeyeceğini biliyordu. Yine de incelediği kaya, bir demir kütlesi haline gelmişti. Bu demirin ancak uzaydan gelmiş olabileceği sonucuna vardı. Atmosferden geçerken erimişti.

Chladni bulgularını 1794'te, vardığı sonuçları ortaya koyduğu bir kitapta yayımladı; ona göre, demir



Bu demir-nikel meteorit Kuzey Kutbu buz örtüsünde bulundu. Meteoridin tuhaf şekli, atmosfere girerken yüksek bir ısıda dönmesinden ve yuvarlanmasından kaynaklanmaktadır.

Ayrıca bakınız: Kütleçekim teorisi 66-73 ▪ Ceres'in keşfi 94-99 ▪
Kraterleri araştırma 212

Gökten düşen kayalara ilişkin **raporlar, birbirlerine çok benziyor.**

↓

Bunlar **güvenilir raporlardır.** → Kayalar, **yerel kayalara** benzemiyor.

↓

Kayalar, **aşırı ısınmanın** sonuçlarını gösteriyor. → Kayalar atmosferden **düşerken erimiş.**

↓

Kayalar uzaydan düşer.

ya da taş kütleleri gökten düşüyor; atmosferdeki sürtünme ısınmalarına neden olur ve görünür ateş topları ("kayan yıldızlar") meydana gelir; bu kütleler Dünya'nın atmosferinde değil, onun çok ötesinde meydana gelir; bir araya gelip gezegen oluşturamayan cisimlerin parçalarıdır.

Chladni'nin vardığı sonuçlar doğruydu ama o sırada dalga geçildi –düşen bazı kayalar kanıyı değiştirmesine yardım edene kadar. Bunlardan ilki, Chladni'nin kitabı yayınlandıktan iki ay sonra gerçekleşti; İtalya'da, Siena'nın kenar mahallelerine büyük bir taş yağmuru yağdı. Yapılan analizler, Dünya'da bulunan taşlardan çok farklı olduklarını gösterdi. Sonra 1803'te, Normandiya'da l'Agile civarındaki tarlalara yaklaşık 3.000 taş düştü. Fransız fizikçi Jean-Baptiste Biot bunları inceledi. Yakınlarda bir yerde meydana gelmiş olamayacakları sonucuna vardı.

Güneş Sistemi parçaları

Chladni'nin çalışmaları sayesinde bilim insanları kayan yıldızların, uzaydan gelip atmosferden geçerken kızaracak noktaya kadar ısınan kaya ya da metal topağı olduklarını biliyorlar. Akkorlaşmaya neden olan nesneye, meteor denilir. Dünya'ya kadar gelip yere düşenlere meteorit ya da göktaşı denilir. Meteoritler Jüpiter ile Mars arasındaki asteroid kuşağında meydana gelebilir, Mars'tan ya da Ay'dan fırlamış kaya da olabilirler. Birçok meteorit, asteroidkuşağında büyük cisim oluşturamayan malzeme olduğu sanılan ve gökkumu denilen küçük parçacıklar içerir. Bunlar, Güneş Sistemindeki en eski malzemelerdendir ve ilk bileşimleri konusunda bilim insanlarına çok şey anlatabilirler. ■



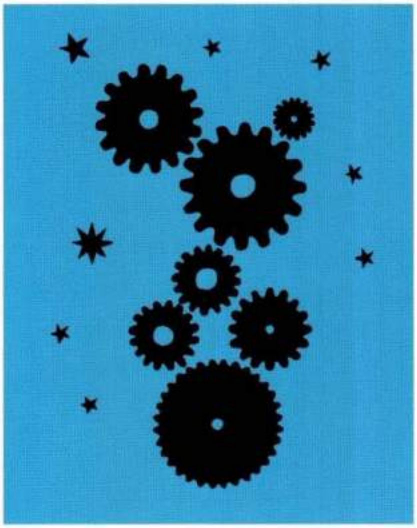
Ernst Chladni

Ernst Chladni Saksonya'da akademisyen bir ailede dünyaya geldi. Chladni'nin babası oğlunun bilimle ilgilenmesine onay vermedi, hukuk ve felsefe okumasında ısrar etti. 1782'de Leipzig Üniversitesinden bu dallarda diploma aldı. Ne var ki, o yıl babası ölünce fiziğe döndü.

Chladni fizik bilgisini ilk önce akustikte kullandı ve bununla ünlendi. Sert yüzeylerin nasıl titreştiğini tanımladı ve gözlemleri, keman tasarımlarında kullanıldı. Daha sora meteoritler üzerindeki çalışmaları, o zamanın bilim insanlarından fazla ilgi görmedi ve Jean-Baptiste Biot'nun popüler yazıları olmasaydı, karanlığa gömülüp kaybolabilirdi; Biot'nun bulguları Chladni'nin görüşlerini destekliyordu.

Önemli eserleri

1794 *On the Origin of the Iron Masses Found by Pallas and Others Similar to it, and on Some Associated Natural Phenomena*
1819 *Igneous Meteors and the Substances that have Fallen from them*



GÖKYÜZÜNÜN MEKANİZMASI

KÜTLEÇEKİM TEDİRGİNLİĞİ

KISACA

ASTRONOM
Pierre-Simon Laplace
(1749–1827)

ÖNCE
1609 Johannes Kepler, gezegenlerin eliptik yörüngelerde hareket ettiklerini belirler.

1687 Isaac Newton evrensel kütleçekim yasasını ve Kepler'in gezegen devinimi yasalarının matematiksel bir türevini içeren *Principia Mathematica*'yı yayımlar.

1734 İsveçli filozof Emanuel Swedenborg, Güneş Sisteminin oluşumuna ilişkin bulutsu teorisinin ana hatlarını çizer.

SONRA
1831 Mary Somerville, Laplace'ın *Méchanique céleste*'sini İngilizceye çevirir.

1889 Fransız matematikçi Henri Poincaré, Güneş Sisteminin istikrarlı olduğunu kanıtlamanın olanaksız olduğunu gösterip, kaos teorisinin temellerini atar.

Gökyüzünün mekanizmasında tedirginlikler vardır.

İlahi müdahale yoksa, bu tedirginlikler gezegenlerin **yörüngelerini istikrarsızlaştıracak** gibi görünür.

Ama tedirginlikler zaman içinde **sürekli kendini düzeltir.**

Kendini düzeltmeyi, bizzat tedirginliğe yol açan **kütleçekim kuvveti** yapar.

18. yüzyılın sonuna gelindiğinde Güneş Sisteminin yapısı iyi biliniyordu. Gezegenler Güneş'in etrafında eliptik yörüngelerde dönüyor, kütleçekim onları yerlerinde tutuyordu. Isaac Newton'un yasaları, bu Güneş Sistemi modeline matematiksel bir temel sağladı; ama hâlâ sorunlar vardı. Newton'un kendisi de düşüncelerini gözlemlerle sınadı; ama gezegen yörüngelerinde "tedirginlikler" fark etti. Bununla kastettiği, düzeltilmezse yörüngeleri istikrarsızlaştıracak ek bir kuvvetin neden olduğu bir yörünge rahatsızlığıydı. Sonuç olarak Newton, Güneş Sistemini istikrarlı bir durumda tutmak için arada bir Tanrı'nın eline gerek olduğu sonucuna vardı.

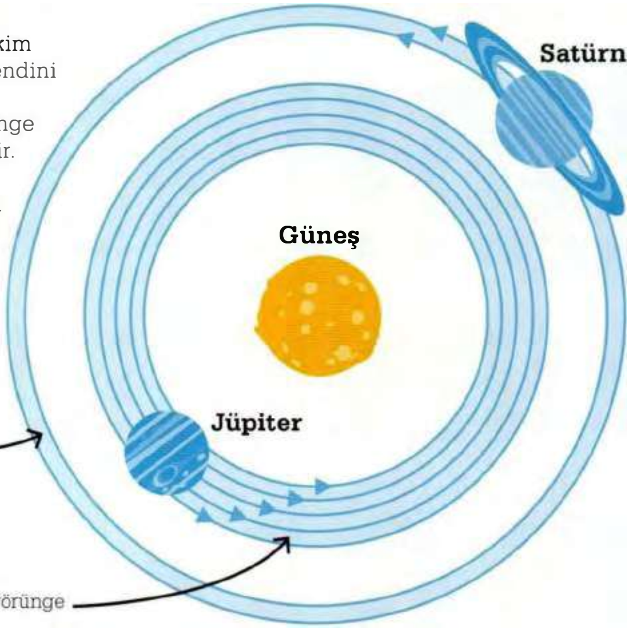
Yörünge rezonansı

Ne var ki, Fransız matematikçi Pierre-Simon Laplace, ilahi müdahale fikrini reddetti. 1784'te, süregelen ve "büyük Jüpiter-Satürn eşitsizli-

Ayrıca bakınız: Eliptik yörüngeler 50-55 ▪ Galileo'nun teleskobu 56-63 ▪ Kütleçekim teorisi 66-73 ▪ Görelilik teorisi 146-53 ▪ Delambre (Rehber) 336

ği" olarak bilinen bir soruna el attı. Laplace, bu iki gezegenin yörüngelerindeki tedirginliklerin, devinimlerinin yörünge rezonansından kaynaklandığını gösterdi. Bu, iki cismin yörüngesinin tam sayılı bir oranda birbiriyle ilişkili olduğu duruma işaret eder. Jüpiter ve Satürn'ün durumunda, Satürn'ün her iki dönüşüne karşılık, Jüpiter Güneş'in etrafında neredeyse tam beş kez döner. Yani, bu iki gezegenin kütleçekim alanlarının birbirleri üzerindeki etkisi, rezonans içinde olmayan yörüngeler için olandan daha büyüktür.

Yörüngede dönen cisimlerin kütleçekim istikrarlı ve kendi kendini düzelten bir sistem ürettiği zaman yörünge rezonansı gerçekleşir. Yörünge periyotları 5:2 oranında olan iki dev komşu gezegen Jüpiter ve Satürn'ün yörüngeleri, bunun bir örneğidir.

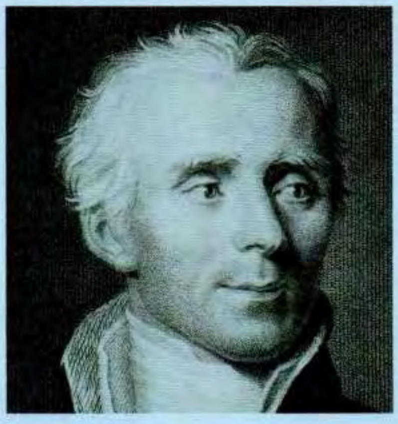


Bulutsu varsayımı

Laplace Güneş Sistemiyle ilgili çalışmalarını iki etkili kitapta yayınladı –*Exposition du systѐme du monde* denilen popüler bir anlatım ve matematiksel bir anlatım olan *Myechanique celeste*. *Exposition*'da Laplace, Güneş Sisteminin ilkel bir bulutsudan geliştiğine dair düşünceyi araştırdı. Laplace, kendi etrafında dönen, soğuyup büzülen, dış kenarında halkalar kopan sıcak bir gaz kütlesini tarif etti. Çekirdek malzeme Güneş'i oluşturdu, halkalardaki maddeyse soğuyup gezegenleri oluşturdu.

Laplace'ın ölümünden kısa süre sonra, İskoçyalı matematikçi Mary Somerville onun çalışmalarını İngilizceye çevirdi ve bu, düşüncelerinin geniş bir alana yayılmasına neden oldu. Laplace'ın yeni teoremlerini kullanan yurttaşı Jean Baptiste Joseph Delambre, Jüpiterin ve Satürn'ün devinimlerini öngören çok daha doğur cetveller üretebildi. ■

Pierre-Simon Laplace



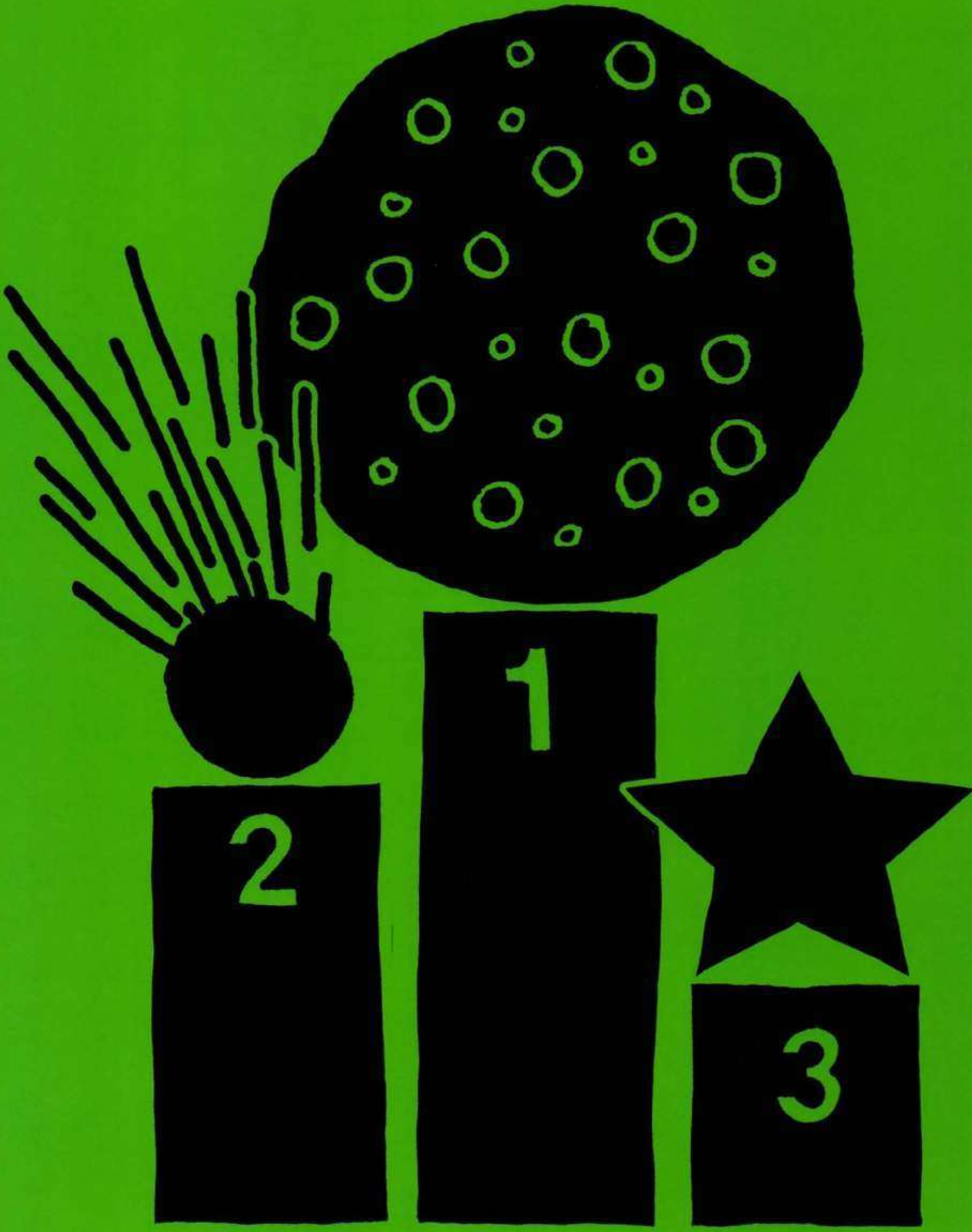
Pierre-Simon Laplace Fransa'da, Normandiya'da küçük bir toprak sahibinin oğlu olarak dünyaya geldi. Babası onu kiliseye hazırladı ve Caen Üniversitesinde teoloji okudu; ama orada matematiğe ilgi duydu. Din adamı olma niyetinden vazgeçip Paris'e taşındı ve École Militaire'de öğretmen oldu. Burada Napoléon Bonaparte'a ders verdi. Öğretmenlik ona araştırmaya zaman ayırma olanağı verdi ve 1780'lerde matematik konusunda bir dizi etkili makale üretti. Napoléon 1799'da iktidarı ele geçirince, Laplace senato üyesi oldu ve birçok bilimsel komisyonda görev yaptı. Ölünceye kadar astronomi matematiği üzerine çalışmaya devam etti, gök mekaniği üzerine beş kitap yayımladı.

Önemli eserleri

1784 *Théorie du movement et de la figure elliptique des planètes*
1786 *Exposition du système du monde*
1799–1825 *Méchanique céleste*

SANIRIM, BU KUYRUKLUYILDIZDAN DAHA İYİ BİR ŞEYDİR

CERES'İN KEŞFİ


2
1
3

KISACA

ASTRONOM
Giuseppe Piazzi (1746–1826)

ÖNCE
1596 Johannes Kepler, Güneş Sisteminde gözlemlenmemiş gezegenler olduğunu öne sürer.

1766 Johann Titius, Mars ile Jüpiter arasındaki aralığın bir gezegen içerdiğini öngörür.

1781 William Herschel'in Uranüs'ü keşfi, Johann Bode'nin önerdiği yörünge örüntüsünü doğrular.

1794 Ernst Chladni, meteoritlerin eskiden yörüngede olan kayalar olduklarını öne sürer.

SONRA
1906 Jüpiterin yörüngesinde Truvalı asteroidler bulunur.

1920 Jüpiter ile Neptün arasında Hidalgo, ilk "Kentaur" asteroid (yörüngesi istikrarsız bir asteroid) bulunur.

2006 Ceres, cüce gezegen olarak sınıflandırılır.

Gezegenlerin yörüngeleri, matematiksel bir formüle uyar gibi görünüyorlar.

↓

Formül, **Mars ile Jüpiter arasındaki aralıkta** yörüngede dolaşan bir cisim olması gerektiğini öngörür.

↓

Aralıkta görülen bir cisim, **Ceres**, bir gezegen olamayacak kadar küçüktür ama **bir kuyrukluyıldız yörüngesine de sahip değildir.**

↓

Ceres **küçük bir gezegen** ya da **asteroidtir** –uzayın bu bölgesinde binlercesinden biri.

Yüzyıllarca, bilinen "dolaşan yıldız" ya da geceleyin gökyüzünde izi sürülen gezegen sayısı beşti. Güneş ve Ay'la birlikte, Dünya'dan görülebilen büyük gök cisimlerinin sayısı yediye çıkıyordu –mistik anlam yüklü bir sayı. Sonra 1781'de William Herschel, Satürn'ün yörüngesinin ötesinde Uranüs'ü fark etti ve astronomları yedi sayısını yeniden düşünmeye zorladı. Ne var ki, yeni gezegenin yörüngesi, Güneş Sisteminin güncellenen planı içine yerleştirilince, başka bir sayı bilmecesini açığa vurdu.

Bir aralık bulmak

1766'da Johann Titius adlı Alman bir astronom, gezegenlerin yörünge uzaklıkları arasında matematiksel bir bağ keşfetti. Diğer bütün yörüngeleri ölçmek için Satürn'ün yörüngesini 100'e bölüp bir birim yarattı. Merkür'ün yörüngesi, Güneş'ten 4 birim uzaktı ve diğer her gezegenin konumu, 3'ün bir katıyla ya da 0, 3, 6, 12, 24, 48 ve 96 sayı dizisiyle ilişkiliydi. Böylece Merkür Güneş'ten 4+0 birim, Venüs 4+3, Dünya 4+6 ve Mars 4+12 birim uzakta bulunuyordu. Jüpiter 4+48 ve Satürn 4+96'daydı. Dizide 4+24=

Guiseppe Piazzi



Zengin İtalyan ailelerin genç oğullarında âdet olduğu üzere, Giuseppe Piazzi'nin meslek yaşamı da Katolik Kilisede başladı. 20'li yaşların ortasında, yeteneklerinin akademik alana uygun olduğu anlaşıldı. 1781'de, Sicilya'da, Palermo'da yeni kurulan bir akademide matematik profesörlüğüne atandı ama çok geçmeden astronomiye geçti. Bu görevinde ilk işi yeni bir gözlemevi inşa etmek ve Palermo Çemberiyle –Londra'da yapılan 1,5 metre geniş irtifa ölçekli bir teleskop– donatmaktı. O sırada dünyadaki en doğru teleskop buydu. Piazzi çalışkanlığıyla ünlüydü ve hata payını en aza indirmek için peş peşe en az dört gece ölçüm yapardı. 1806'da 61 Cygni yıldızının büyük özdevinimini kaydetti. Bu, birçok astronomun yıldızlar arasındaki uzaklığı ölçmek için söz konusu yıldızın paralaksını kullanmaya teşvik etti.

Önemli eserleri

1803 *Præcipuarum stellarum inerrantium (Star catalogue)*
1806 *Royal Observatory of Palermo (Book 6)*

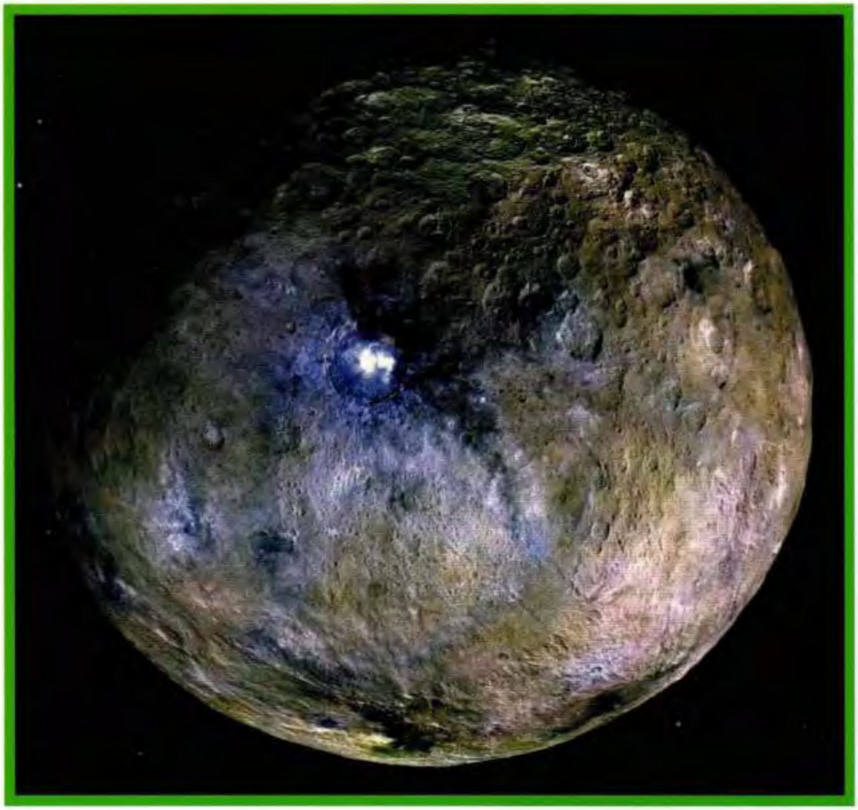
Ayrıca bakınız: Eliptik yörüngeler 50-55 ▪ Uranüs'ü gözlemlemek 84-85 ▪ Asteroidler ve Meteoritler 90-91

> Mars'tan sonra 4+24=28'in alanı gelir ama şimdiye kadar orada hiçbir gezegen görülmedi. Peki, Mimar Tanrı o yeri boş bırakmalı mıydı? Asla.
>
> **Johann Titius**

28'de bilinen bir gezegen yoktu; dolayısıyla, Güneş Sisteminde Mars ile Jüpiter arasında bir aralık olduğu anlaşıldı. Titius, bu aralığın bilinmeyen bir cisim tarafından işgal edilmesi gerektiğini öne sürdü. Ne var ki, bulguları doğru olamayacak kadar iyi görünüyordu –Mars ve Satürn'ün sonuçları da biraz bozuktu; bu yüzden çok az astronom Titius 'a kulak astı.

Birkaç yıl sonra, 1772'de, Johann Bode adlı bir Alman, Titius'un çalışmasının biraz değişik bir versiyonunu yayımladı ve büyük övgü aldı. Sonuç olarak, teori en çok Bode yasası olarak hatırlanır. Uranüs keşfedildiğinde, Bode yasası Güneş'ten 196 birim uzak olacağını öngördü. Sonunda 192 birime yakın olduğu gösterildi; bu, yeterince yakın görünüyordu. Kuşkusuz, 28 birim aralığının da bir gezegen içermesi gerektiği anlamına geliyordu.

1800'de, Franz Xaver von Zach, Heinrich Olbers ve Johann Schröter öncülüğünde bir grup astronom, aralığa ilişkin bir araştırma başlatmaya karar verdi. Planları, burçlar kuşağını –bütün gezegenlerin hareket ettiği gökyüzü kuşağı– bölmek ve Avrupa'nın önde gelen 24 astronomundan, her birinin bir bölgede devriye gezip gezegen-benzeri devinim aramalarını istemekti. Bir araya getirdikleri ekibe, Gök Polisi denildi. Ama sonunda aralığı dolduran yetenek değil, düpedüz şans olacaktı.



NASA'nın uzay aracı *Dawn*'ın 2015'te fotoğrafladığı Ceres, asteroid kuşağında en büyük nesnedir ve kendi kütleçekimiyle küre olacak kadar büyük tek nesnedir.

Ölçüm teleskobu

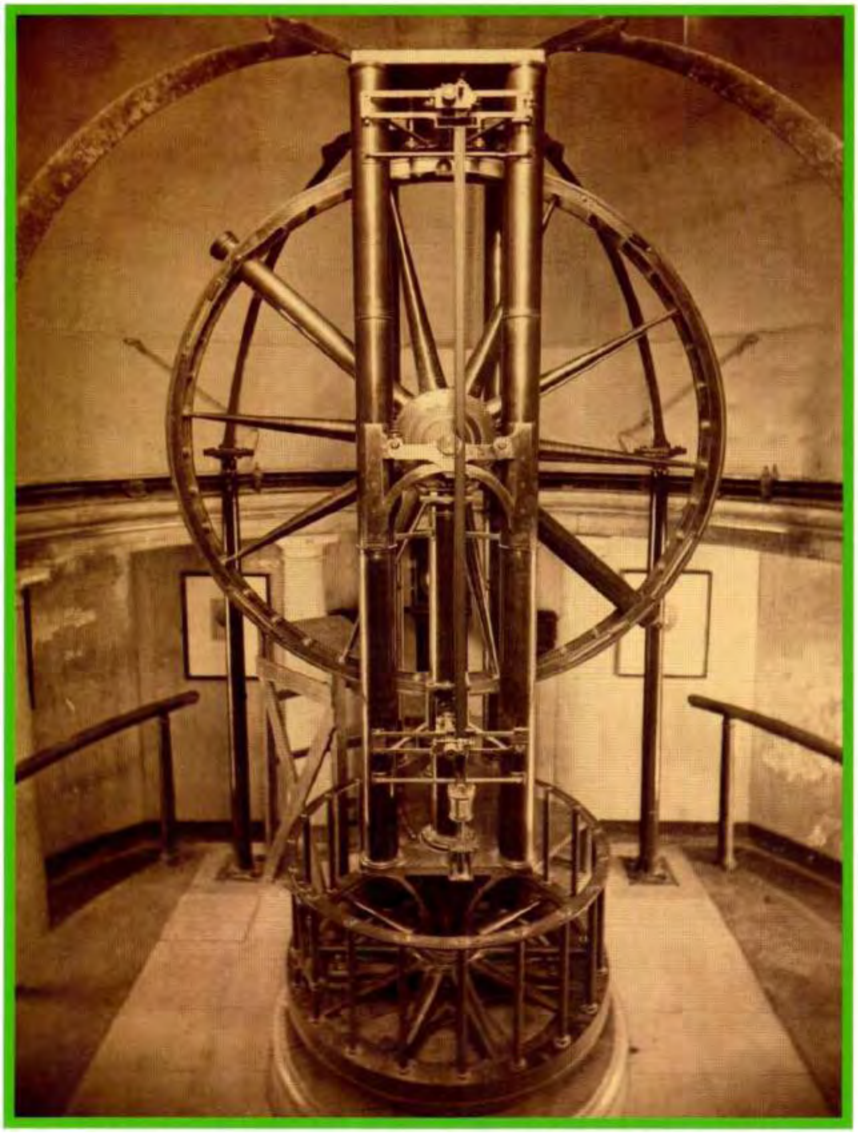
Gök Polisine yardım eden astronomlardan biri, Palermo'da konumlanan Giuseppe Piazzi'ydi. Zamanın pek çok astronomu gibi Piazzi de, esas olarak doğru yıldız haritaları yaratmakla ilgileniyordu. Bu amaçla, şimdi Palermo Çemberi olarak bilinen bir ölçüm teleskobu edinmişti. Kendi zamanının en güçlü teleskobu olmamasına rağmen, üzerine takılan altazimut hem dikey hem de yatay dönebiliyor, yıldız konumlarına ilişkin çok doğru ölçümler yapmaya olarak veriyordu –çok kâr getirecek bir özellik.

1801'de yılbaşı akşamı Gök Polisinin talimatları Piazzi'ye henüz ulaşmamıştı; bu yüzden geceyi yıldızları incelemekle geçirdi ve Boğa takımyıldızında yeni, soluk bir nesne (sekiz kadirde) kaydetti. Ertesi gece Piazzi ölçümlerini kontrol etti ve nesnenin biraz hareket ettiğini gördü. Bu, onun kesinlikle bir yıldız olmadığı anlamına geliyordu.

Piazzi, Bode'ye bilgi vermeden önce 24 gün boyunca nesneyi izledi. İlk önce bir kuyrukluyıldız –görece yaygın bir keşif– olduğunu düşündü ama gözlemleri, çok geçmeden aksini gösterdi. Puslu bir kuyruk ya da püskül göremedi ve kuyrukluyıldızlar Güneş'e yaklaştıkça hızlandıkları halde, Piazzi'nin keşfettiği nesne daha istikrarlı, dairesel bir yol izliyordu. Bode'ye yazdığı mektupta Piazzi, kuşkularını açıkça belirtti: Bu, herkesin aradığı kayıp gezegen olabilir.

Mart sonunda haberi işiten Bode, hiç vakit kaybetmeden yeni bir gezegenin keşfedildiğini duyurdu ve Juno adını verdi. (Yakın zamanda Uranüs'ün adını seçmişti ve aynısını yapmaya hakkı olduğundan emindi.) Diğer astronomlar Hera adını tercih etti ama nesneyi fiilen gören tek kişi olan Piazzi, Roma tarım tanrısı Ceres'i tercih etti.

Hazirana gelindiğinde Ceres'in yörüngesi onu Güneş'in anlına getirmişti. O arada Piazzi hastalanmış ve en basit yörünge yayı dışında bir şey çizme şansı olmamıştı. Keşfettiği nesnenin sonbaharda tekrar görüleceğini hesapladı. Ama ne kadar çabalarsa çabalasınlar, ne Piazzi ne de başka biri Ceres'i bulmayı başardı.



Matematiksel önsezi

Von Zach matematiğin sesine kulak vermeye karar verdi ve gezegenin yörüngesinin ayrıntılarını matematikçi Carl Friedrich Gauss'a gönderdi. Altı haftadan az bir sürede Gauss, Ceres'in bulunabileceği bütün yerleri hesapladı. Aralık ayı boyunca Zach, Gauss'un öngörülerine uygun aramalar yaptı ve 1801 yılı yılbaşı gecesinde, ilk kez görüldükten tam bir yıl sonra, Ceres'i bir kez daha buldu.

Ceres'in yörünge uzaklığı 27,7 Bode birimiydi –öngörülen yere dikkate değer ölçüde yakın. Ne var ki, yörünge verileri Güneş Sisteminin bu yeni üyesinin bilinen gezegenlerden çok fazla küçük olduğunu gösteriyordu. William Herschel'in ilk tahminine göre Ceres, boydan boya 260 kilometreydi. Birkaç yıl sonra Schröter, 2613 kilometrelik bir çap önerdi. Gerçek rakam 964 kilometredir, yani İber Yarımadası ya da Teksas kadar bir alan.

Gök Polisi araştırmalarını sürdürdü ve Mart 1802'de Olbers, Güneş'e aynı uzaklıkta bulunan Ceres'e benzer ikinci bir cisim keşfetti ve Pallas adını verdi. 1804'te Karl Harding üçüncü bir cisim keşfetti ve Juno adını verdi; 1807'de yine Olbers dördüncü cismi, Vesta'yı fark etti. Bu cisimlerin tümünün Ceres'ten küçük olduğu anlaşıldı.

Piazzi'nin teleskobu, Palermo Çemberi, Jesse Ramsden tarafından yapıldı. Üzerine takılan hassas alet, yıldız konumlarını birkaç yay-saniye doğrulukla ölçmeye olanak veriyordu.

> Üçüncü gece kuşkum kesinleşti; sabit bir yıldız olmadığına emin oldum. Dördüncü geceye kadar bekledim ve önceki günlerle aynı oranda hareket ettiğini görünce tatmin oldum
> **Giuseppe Piazzi**

–Vesta ve Pallas'ın genişliği 500 kilometreden biraz fazlaydı, Juno ise bunun yarısıydı.

Asteroid kuşağı

Gök Polisi keşfettiği cisimlere küçük gezegenler dedi ama William Herschel başka bir ad tercih etti –yıldıza benzer anlamına gelen asteroid. Herschel'in muhakemesine göre, bu küçük nesnelerin gerçek gezegenlerden farklı olarak ayırt edilebilir özellikleri yoktu ya da en azından o günün teleskoplarıyla fark edilebilir bir özellikleri yoktu; bu yüzden hareket etmeselerdi, yıldız ışığından ayırt edilemeyeceklerdi. 20 yıl önce bulduğu gezegeni adlandırmada başarısız olan Herschel, kurnazca "bu cisimlerin doğasında, bir başka olağanüstü değişimin ortaya çıkması durumunda, isimlerini değiştirme özgürlüğü"nün kendisine verilmesini istedi.

Daha iyi ifade eden bir şey olmadı ve Gök Polisi 1815'te dağıldıktan sora, asteroid keşifleri devam etti. 1868'de sayıları 100'e, 1985'de 3.000'e ulaştı. Dijital fotoğrafın ve görüntü analizinin gelişiyle birlikte, 28 Bode birimi aralığında kaydedilen asteroid sayısı 5.000'i aşmış durumdadır. Olbers ve Herschel, asteroidlerin, astronomik bir felaketle ezilmeden önce aralıkta yörüngede dönen bir gezegenin kalıntıları olma olasılığını tartıştı. Bugün, yakındaki Jüpiterin kütleçekiminin bozucu etkisinin, ilk elde asteroidlerin birleşip bir gezegen oluşturmalarını engellediği düşünülmektedir –ilkel Güneş Sisteminde başka yerde benzer disklerin yaptığı gibi.

Bilinen asteroidlerin yaklaşık yüzde 80'inin, diğer asteroidlerin toplam kütleçekiminin etkisi altında oldukları için, istikrarsız yörüngeleri vardır. Gelecekti yıkıcı çarpışmaları öngörmek ve önlemek umuduyla, Dünya'ya özellikle yaklaşan 13.000 kadar asteroid –Dünya'ya Yakın Asteroidler (DYA)– izlenmektedir.

Truvalılar

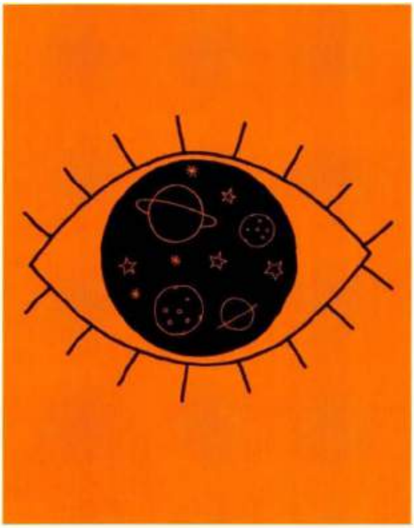
Gezegenlerle aynı yörüngelerde dolaşan, ev sahiplerinden uzak, kütleçekim bakımından istikrarlı "sallantı noktalarında" toplanan ve Truvalılar olarak bilinen asteroidler vardır. Bunların büyük çoğunluğu Jüpiter sistemindedir ve orada iki küme oluştururlar: "Truva Kampı" ve "Yunan Kampı." Mars'ın ve Neptün'ün de Truvalıları vardır; Dünya'nın ilk Truvalısı 2011'de keşfedildi.

> Ayırt edilemeyecek kadar küçük yıldızlara benziyorlar. Bundan, yıldızlara benzer görüntülerinden ötürü, bunlara asteroid diyorum.
> **William Herschel**



Uzay aracı *Dawn* 2011-12'de Vesta asteroidini ziyaret etti. Yörüngesi Ceres'in yörüngesinin içindedir ve Dünya'dan görülen en parlak asteroidtir.

2006'da Uluslararası Astronomi Birliği Ceres'e cüce gezegen statüsü verdi –asteroid kuşağındaki tek cüce gezegen. Aynı zamanda Plüton da cüce gezegen olarak sınıflandırıldı. Ne Neptün'ün ne de Plüton'un yörüngeleri Bode yasasının öngörülerine uyar. Bode yasası, Ceres'in keşfedilmesinde etkili olmasına rağmen, Güneş Sisteminin oluşumunun kilidini açacak bir anahtar değil, matematiksel bir çakışma olarak görülmektedir. ■



BÜTÜN GÖKYÜZÜNÜN BİR HARİTASI

GÜNEY YARIMKÜRE

KISACA

ASTRONOM
John Herschel (1792–1871)

ÖNCE
1784 Charles Meisser bilinen 80 bulutsunun listesini yayımlar.

SONRA
1887 Cartes du Ciel'in, bütün gökyüzünün fotografik haritasını çıkarma projesi, Paris Gözlemevi müdürü Amédée Mouchez tarafından başlatılır.

1918 Gökyüzünün çok büyük bölümünü kapsayan Henry Draper Kataloğu, Harward College Gözlemevi tarafından yayımlanır.

1948–58 California'da Palomar Gözlemevi, yaklaşık 2000 fotografik plakadan oluşan verilerle birlikte büyük gökyüzü haritasını tamamlar.

1989–93 Yapay uydu Hipparcos, 2,5 milyondan fazla yıldızın kataloglanmasına olanak veren veriler toplar.

1786 ile 1802 arasında William Herschel, gece gökyüzünde 1000'den fazla yeni nesneyi listeleyen kataloglar yayımladı. 1822'de ölümünden sonra William'ın oğlu John onun çalışmalarını devam ettirdi ama kapsamını ve iddiasını genişletip, gece gökyüzünün tam bir haritasını çıkarmaya soyundu. William'ın gözlemlerinin tümü güney İngiltere'de yapılmıştı ve dolayısıyla gök ekvatorunun yaklaşık 33⁰ altındaki nesnelerle sınırlıydı. Gökyüzünün geri kalan kısmının haritasını çıkarmak için oğlunun gözlemleri, güney yarımkürede bir yerde yapılmalıydı.

Herschel o sırada Britanya İmparatorluğunun bir parçası olan Güney Afrika'ya karar verdi. 1883'te karısını ve genç ailesini, bir asistanı ve babasının odak uzunluğu 6 metre olan teleskobunu yanına alarak oraya taşındı. Kuzey gökyüzü incelenirken de bu teleskop kullanılmıştır ve Herschel, güney yarımkürede toplanan bilgi ile kuzey yarımkürede üretilmiş olan karşılaştırılabilir olmasını sağlamak için bu teleskobu seçti. Aile, Masa Dağının eteğinde, dağın zirvesinde genellikle toplanan bulutlardan sakınacak kadar uzak bir eve yerleşti ve Herschel, sonraki dört yılı araştırmayı tamamlamakla geçirdi.

Güney gökleri

Magellan bulutları, Samanyolu'na yakın iki cüce galaksidir ve yalnızca güney yarımkürede görülür. Çıplak gözle görülebilirler ama Herschel'in teleskoplu incelemeleri, astronomların kullanımına ilk ayrıntılı gözlemle-



Samanyolu'nun çekirdeği en berrak güney yarımkürede görülür. Karanlık bölgeler, yıldızlararası tozun yıldız ışığını engellediği yerlerdir.

Ayrıca bakınız: Messier nesneleri 87 ▪ Samanyolu 88-89 ▪
Bulutsuları incelemek 104-05

İki yarımkürede de gök kürenin bir kısmı **her zaman saklıdır.**

↓

Britanya'dan yapılan bir ölçüm, gök ekvatorunun **33^0 altında** kalan hiçbir şeyi görmez.

↓

Güney Afrika'dan gözlemler de eklenirse, **tam bir ölçüm** yapılmış olur.

↓

Her iki yarımküreden gözlemleri birleştirmek, bütün gökyüzünün bir haritasını üretir.

ri sundu. Bu galaksilerde 1000'den fazla yıldızın, yıldız kümesinin ve bulutsunun bir listesini hazırladı.

Herschel, Samanyolu içindeki yıldızların dağılımına ilişkin de dikkatli gözlemler yaptı. Samanyolu içinde Güneş Sisteminin yönelimi sayesinde, şimdi galaksinin çekirdeği olarak bilinen en parlak kısmı, kuzey yarımkürede yalnızca gecelerin kısa olduğu yaz aylarında ufuk çizgisinde alçakta görülebilir. Güney yarımküredeyse, daha parlak çekirdek gökyüzünde yüksekte ve yılın karanlık aylarında görülebilir; bu da gözlemleri daha kolay ve daha ayrıntılı yapmaktadır.

Herschel'in çabalarının sonucu olan *The General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars*, toplam 5000'den fazla nesne listeledi. Eksiksiz bir yıldız kataloğu olması amaçlandığı için, kendisinin ve babasının gözlemlediği bütün nesneleri ve Charles Messier gibi başkalarının keşfettiği nesnelerin çoğunu içermekteydi. ■

> Yıldızlar, Evren'in sınır taşlarıdır.
> **John Herschel**

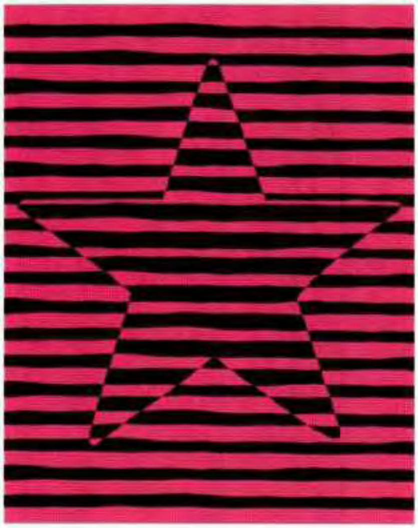


John Herschel

John Herschel 1816'da ünlü bir matematikçi olarak Cambridge Üniversitesinden ayrıldı. Babası William'la birlikte çalıştı ve William'ın 1822'de ölümünden sonra onun çalışmalarını devam ettirdi. Herschel Kraliyet Astronomi Enstitüsünün kurucularından biri oldu ve üç dönem başkanlığını yaptı. 1826'da evlendi ve 12 çocuğu oldu. Herschel astronomi dışında birçok alana daha ilgi duydu. Herschel Güney Afrika'dayken, karısıyla birlikte bir botanik resim dosyası hazırladı. Fotoğrafçılığına da önemli katkılarda bulundu, renk çoğaltma deneyleri yaptı; meteoroloji, teleskop ve diğer konularda makaleler yayımladı.

Önemli eserleri

1831 *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*
1847 *Results of Astronomical Observations Made at the Cape of Good Hope*
1864 *General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars*
1874 *General Catalogue of 10,300 Multiple and Double Stars*



GÖRÜNÜRDE YILDIZLARIN BİR HAREKETİ

YILDIZ PARALAKSI

KISACA

ASTRONOM
Friedrich Bessel (1784–1846)

ÖNCE
MÖ 220 Aristarkhos, hiçbir paralaks görülemediği için yıldızların çok uzak olduklarını öne sürer.

1600 Tycho Brahe, kısmen yıldız paralaksını saptayamadığı için Kopernikçi Güneş-merkezli sistemi reddeder.

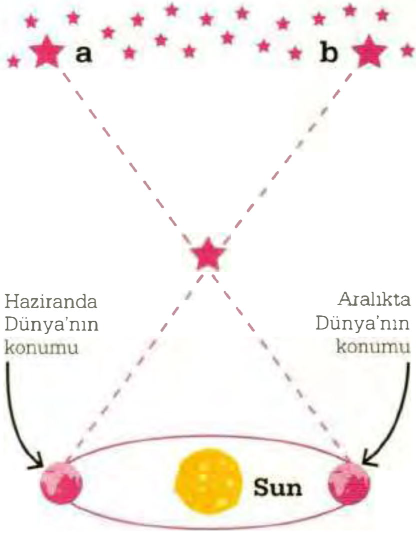
SONRA
1912 Henrietta Swan Leavitt değişken yıldız tipinin periyodu ile parlaklığı arasında bir bağ keşfeder ve uzaklıkları hesaplamak için bu yıldızların "standart mum" olarak kullanılmasına olanak yaratır.

1929 Edwin Hubble, bir galaksinin ışığının kızıla kayması ile Dünya'dan uzaklığı arasındaki bağı keşfeder.

1938 Friedrich Georg Wilhelm Struve, Vega'nın paralaksını ölçer; Thomas Henderson ise, Alpha Centauri'nin paralaksını ölçer.

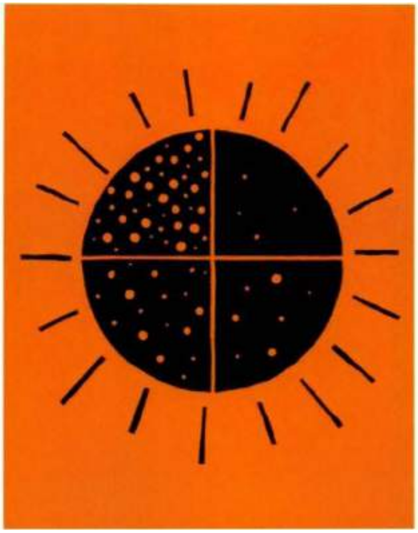
Paralaks, gözlemcinin değişen konumu nedeniyle yakın bir nesnenin uzak bir nesneye karşı görünürdeki hareketidir. Bu fenomene göre yakındaki yıldızlar, Dünya kendi yörüngesinde dönerken daha uzak yıldızlara göre konumlarını değiştiriyormuş gibi görünmelidirler. Paralaksı kullanarak yakındaki yıldızlarını uzaklığını ölçmenin olanaklı olabileceği düşüncesi, eski Yunanistan'a kadar geri gider. Ne var ki, söz konusu uzaklıklar sanılandan çok daha fazla olduğu için, 19. yüzyıla kadar buna ulaşılamadı.

Alman astronom Friedrich Bessel'in meslek yaşamının çoğu yıldızların konumunu doğru belirlemeye ve özdevinimlerini (mevsimin ya da gecenin zamanına göre görünür konum değişiklikleri değil, daha çok yıldızın deviniminden kaynaklanan konum değişiklikleri) bulmaya adanmıştı. 1830'larda teleskopların gücündeki iyileşmelerle birlikte, yıldız paralaksının ilk doğru ölçümünü yapma yarışı başladı. 1838'de Bessel, 61 Cygni yıldızı için, 0,314 yay-saniyelik bir açıyla paralaksı ölçtü; bu onun 10,3 ışık yılı uzakta olduğunu göstermekteydi. Şimdiki tahmin, 11,4 ışık yılıdır; buna göre Bessel'in hata payı yüzde 10'un altındadır. ■



Paralaks etkisi nedeniyle yakındaki bir yıldızın ardalandaki yıldızlara göre görünür konumu, Hazirandaki **b** noktasından Aralıktaki **a** noktasına hareket eder.

Ayrıca bakınız: Tycho modeli 44-47 ▪ Evren'i ölçmek 130-37 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172-77



GÜNEŞ LEKELERİ DÖNGÜLER HALİNDE GÖRÜNÜR

GÜNEŞ'İN YÜZEYİ

KISACA

ASTRONOM
Samuel Heinrich Schwabe
(1789–1875)

ÖNCE
MÖ 800 Çinli ve Koreli astrologlar, olayları öngörmeye yardımcı olmaları için Güneş lekelerini kaydeder.

1128 İngiliz vakanüvis Worcesterli John, Güneş lekelerini çizer.

1801 William Herschel Güneş lekelerinin Dünya'nın iklimi üzerindeki etkileri nedeniyle Güneş lekesi sayısı ile buğday fiyatı arasında bir bağ kurar.

SONRA
1845 Fransız fizikçiler Hippolyte Fizeau ve Léon Poucault, Güneş lekelerini fotoğraflar.

1852 İrlandalı astronom Edward Sabine, Dünya'daki manyetik fırtınaların sayısının Güneş lekelerinin sayısıyla bağıntılı olduğunu tanıtlar.

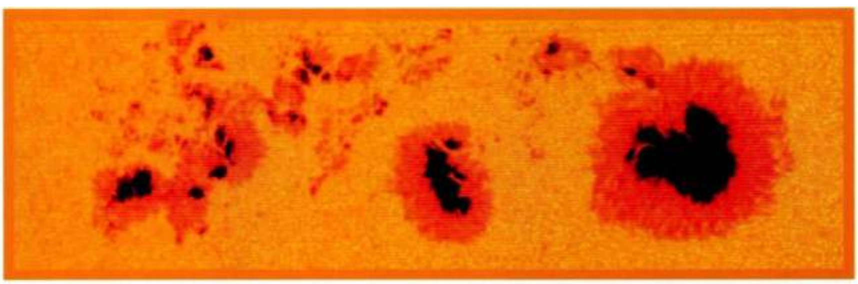
1908 ABD'li astronom George Ellery Hale, Güneş lekelerine manyetik alanların neden oluğunu keşfeder.

Güneş lekeleri Güneş'in yüzeyinde, manyetik alanların neden olduğu daha soğuk bölgelerdir. Güneş lekelerine ilişkin ilk yazılı gözlemler Çin'de, MÖ 800 civarına dayanır; ama ancak 1801'de Britanyalı astronom William Herschel Dünya iklimindeki değişiklikler ile Güneş lekeleri arasında bağlantı kurdu.

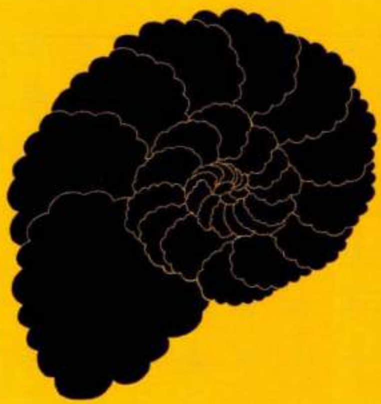
Alman astronom Samuel Schwabe 1826'da Güneş lekelerini gözlemlemeye başladı. Güneş'e Merkür'den daha yakın bir yörüngede olduğu sanılan ve geçici olarak Volkan denilen yeni bir gezegeni arıyordu. Böyle bir gezegeni doğrudan gözlemlemek çok zordu ama Schwabe, Güneş'in önünde hareket eden koyu bir leke olarak görebileceğini düşündü. Volkanı bulmadı ama 11 yıllık döngüler halinde değişen çok sayıda Güneş lekesi keşfetti.

İsviçreli astronom Rudolf Wolf, Schwabe'nin gözlemlerini ve Galileo'ya kadar geri giden başka gözlemleri inceledi ve döngüleri, 1755-66 için 1'den başlamak üzere numaralandırdı. Sonunda her döngüde, Güneş lekeleri sayısının düşük olduğu uzun dönemler bulunduğunu gördü. Herschel örüntüyü fark etmemişti; çünkü şimdi Dalton Minimumu denilen, Güneş lekelerinin düşük olduğu zamanda gözlem yapıyordu. ■

Güneş lekeleri birkaç günden birkaç aya kadar sürebilir. En büyüğü Jüpiter kadar olabilir.



Ayrıca bakınız: Uranüs'ü gözlemlemek 84-85 ▪ Güneş lekelerinin öznitelikleri 129 ▪ Carrington (Rehber) 336



SARMAL BİR DÜZENLEME BİÇİMİ FARK EDİLDİ

BULUTSULARI İNCELEMEK

KISACA

ASTRONOM
Lord Rosse (1800–1867)

ÖNCE
1784 Charles Messier görülebilen bulutsuların bir kataloğunu yayımlar.

1785 William Herschel bulutsu katalogları yayımlar ve birçoğunun şekil ve büyüklük bakımından Samanyolu'na benzediğini tahmin eder.

1833 John Herschel, güney yarımküreden nesneleri inceleyerek babasının kataloglarını genişletir.

1864 William Huggins bazı bulutsuların, yıldız topluluğu değil ışık saçan gaz bulutları olduklarını keşfeder.

SONRA
1917 Vesto Slipher, sarmal galaksilerin "evren adası" oldukları ve Samanyolu'nun bizim içeriden gördüğümüz böyle bir galaksi olduğu sonucuna varır.

Çıplak göz için bulutsular, gaz ya da yıldız içerebilen **puslu ışık yamalarıdır.**

Teleskoplar bazı bulutsuların **yıldız kümesi** olduğunu gösterir.

Daha büyük teleskoplar, sarmal bir düzenleme biçimini açığa çıkarır.

1840'larda William Parsons (Lord Rosse) adlı Britanyalı bir aristokrat, servetinin bir kısmını dünyanın en büyük aynalı teleskobunu yapmak için harcamaya karar verdi. Rosse, John Herschel'in 19. yüzyılın başında listelediği bulutsulardan bazılarını, özellikle yıldız kümesi gibi görünmeyen bulutsuları yeniden incelemeye merak sardı.

Rosse bu bulutsuları yeniden gözlemlemek için, Herschel'in kullandığından daha büyük ve daha iyi bir teleskop yapmaya ihtiyacı vardı. Yıllarca 0,9 metrelik bir ayna dökmenin yollarını aradı. O sırada aynalar, yansıtaç denilen bakır ile kalayın alaşımı bir metalden yapılıyordu – soğuyunca çatlamaya yatkın gevrek bir malzeme. Bu zorluğa rağmen 1845'e gelindiğinde Rosse, 1,8 metre çapında bir ayna dökmeyi başarmıştı. Aynayı İrlanda'da Parsonstown'a yakın Birr Şatosundaki teleskobuna taktı ve Parsonstown Leviathan'ı olarak anıldı. 1917'de ABD'de, California'daki Wilson Dağında 2,5 metrelik yansıtıcı yapılana kadar Dünya'nın en büyük aynalı teleskobu olarak kaldı.

Orta İrlanda'nın, kapalı ya da rüzgârlı hava koşulları çoğu kez görüşü engellediği için, bir teleskop inşa etmek için ideal bir yer olmadığı anlaşıldı. Teleskobun hareketi de sınırlıydı, yani gökyüzünün yalnızca küçük bir alanı incelenebiliyordu. Yine de, hava açıkken Rosse, bu devasa aleti kullanıp gözlem yapabildi ve ilk kez bazı bulutsuların sarmal doğasını kaydedebildi –şimdi bunla-

Ayrıca bakınız: Meisser nesneleri 87 ▪ Samanyolu 88-89 ▪ Güney yarımküre 100-01 ▪ Bulutsuların öznitelikleri 114-15 ▪ Sarmal galaksiler 156-61

ra sarmal galaksiler deniliyor. Rosse'ın tanımladığı bu sarmalların ilki, daha sonra Girdap galaksisi olarak bilinen M51'di. Bugün, gözlemlenmiş tüm galaksilerin yaklaşık dörtte üçü sarmal galaksidir. Bununla birlikte, bunların eninde sonunda eliptik galaksilere dönüşecekleri düşünülmektedir. Daha yaşlı yıldızlardan oluşan eliptik galaksiler daha sönüktür ve saptanması daha zordur ama astronomlar, olasılıkla Evren'deki en yaygın galaksi tipi olduklarına inanıyorlar.

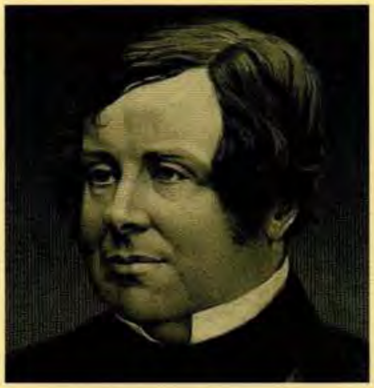
Bulutsu varsayımı

19. yüzyılın ortasında astronomlar, bulutsuların gazdan mı yoksa yıldızlardan mı oluştuğunu tartıştı. 1846'da Rosse, Orion bulutsusunda çok sayıda yıldız buldu; bu yüzden bir süre gazlı bulutsular düşüncesi reddedildi. Bununla birlikte, yıldızlar gerçek olmasına rağmen, yıldızların varlığı gazın yokluğu anlamına gelmiyordu. Bazı bulutsuların gazlı doğası, 1864'te William Higgins spektroskopik analizi kullanana kadar tanıtlanamadı. ■

> Şimdi bulutsuları tanımamızı sağlayan ışık, yıllar önce bulutsuların yüzeyinden ayrılmış ışık ... çok eskiden tamamlanmış süreçlerin hayaletleri olmalı.
>
> **Edgar Allen Poe**

İrlanda, Parsonstown'da Leviathan Teleskobunun, 16,5 metre uzunluğunda bir borunun içinde 3 ton ağırlığında bir aynası vardı.





Lord Rosse

William Parsons 1800'de Yorkshire'da doğdu ve 1841'de babasının ölümünden sonra Rosse Üçüncü Kontu oldu. Dublin'de ki Trinity College'de ve Oxford Üniversitesinde eğitim gördü ve üniversiteyi matematik birincisi olarak bitirdi. 1836'da evlendi ama 13 çocuğundan yalnızca dördü hayatta kaldı. Lord Rosse'ın mülkleri İrlanda'daydı ve teleskoplarını da oraya kurdu.

1845'te, bulutsularla ilgili bulgularını açıkladıktan sonra, bulutsuların gaz olduğuna inanan John Herschel, Rosse'ı eleştirdi. İkisi birbirini kusurlu alet kullanmakla suçladı. Ne var ki, sonunda ikisi de, bulutsuların gazdan mı yoksa yıldızlardan mı oluştuğu sorununu kesin bir biçimde çözecek yeterli bilimsel kanıt göstermeyi başaramadı.

Önemli eserleri

1844 *On the construction of large reflecting telescopes*
1844 *Observations on some of the Nebulae*
1850 *Observations on the Nebulae*



KONUMUNA İŞARET ETTİĞİNİZ GEZEGEN FİİLEN VARDIR

NEPTÜN'ÜN KEŞFİ

KISACA

ASTRONOM
Urbain Le Verrier
(1811–1877)

ÖNCE
Mart 1781 William Herschel Uranüs'ü keşfeder.

Ağustos 1781 Fin-İsveçli astronom Anders Lexell Uranüs'ün yörüngesinde düzensizlikler bulur ve bunun, keşfedilmemiş gezegenlerden kaynaklandığını öne sürer.

1799–1825 Pierre-Simon Laplace tedirginlikleri matematiksel olarak açıklar.

1821 Fransız astronom Alexis Bouvard, Uranüs'ün gelecekteki konumlarına ilişkin öngörüler yayınlar. Sonraki gözlemler öngörülerinden sapar.

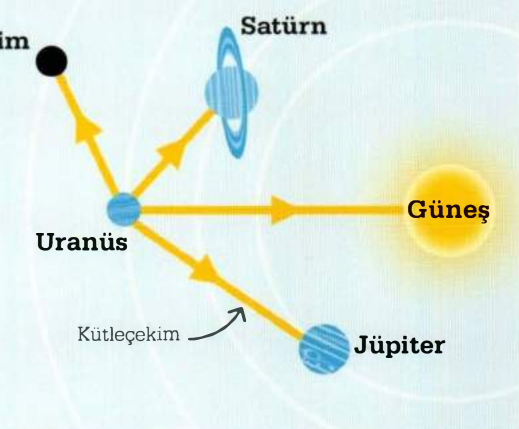
SONRA
1846 Briton William Lassell, Neptün'ün keşfinden 17 gün sonra en büyük uydusu Triton'u keşfeder.

1915 Albert Einstein göreliliği kullanarak Merkür'ün yörüngesindeki tedirginlikleri açıklar.

William Herschel'in 1781'de Uranüs'ü keşfinden sonraki aylarda astronomlar yörüngesinde düzensizlikler ya da tedirginlikler buldu. Yörüngelerdeki pek çok tedirginliğe, diğer büyük cisimlerin kütleçekim etkileri neden olur; ama Uranüs'ün durumunda, gözlemlenen devinime neden olabilecek bilinen bir gezegen yoktu. Bu durum, bazı astronomların, Uranüs'ün ötesinde yörüngede dönen bir gezegenin olması gerektiğini öne sürmelerine neden oldu.

Görünmeyeni aramak

Fransız Urbain Le Verrier keşfedilmemiş bir gezegenin yerini varsayarak ve Uranüs üzerindeki etkisini ortaya çıkarmak için Newton'un kütleçekim yasasını kullanarak Uranüs'ün tedirginlikleri sorununu çözmeye çalıştı. Bu öngörü Uranüs gözlemleriyle karşılaştırıldı ve gezegenin hareketlerine göre konum düzeltildi. Bu süreç birçok kez tekrarlandıktan sonra Le Verrier, bilinmeyen bir gezegenin olası konumunu saptadı. Düşüncelerini 1846'da Académie des Sciences'e (Bilimler Akademisi) sundu ve öngörülerini,



Uranüs'ün öngörülen yörüngesine ilişkin hesaplamalar, Güneş'in, Jüpiterin ve Satürn'ün kütleçekim etkilerini hesaba katıyordu. Ne var ki, gözlemlenen yörünge, Güneş'ten daha uzak büyük bir cismin çekimine işaret edecek şekilde sapmalar gösteriyordu.

Ayrıca bakınız: Samanyolu 88-89 ▪ Kütleçekim tedirginlikleri 92-93 ▪ Görelilik teorisi 146-53

Gezegenlerin yörüngelerindeki tedirginlikler, Güneş Sistemindeki **diğer cisimlerin kütleçekim etkileriyle** açıklanabilir.

Uranüs'ün yörüngesinde, bilinen herhangi bir cisimle açıklanamayan tedirginlikler vardır.

Uranüs'ün ötesinde **başka bir gezegen** olabilir.

Newton'un yasaları, bu gezegenin aranacağı yeri gösterir.

Neptün, matematikle öngörülen yere çok yakın keşfedildi.

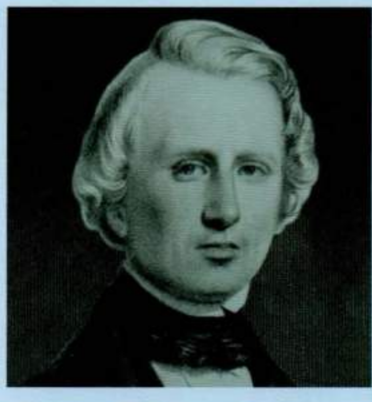
Berlin Gözlemevinde Johann Galle'ye de (1812-1910) gönderdi.

Le Verrier'in mektubu 23 Eylül 1846 sabahı Galle'nin eline geçti ve gezegeni arama izni aldı. Asistanı Heinrich D'Arrest'le birlikte çalışarak, aynı akşam öngörülen konumun içinde bilinmeyen bir nesne belirledi. Sonraki geceler yapılan gözlemler, nesnenin ardalandaki yıldızlara karşı hareket ettiğini ve gerçekten de bir gezegen –daha sonra Le Verrier'in önerisiyle Neptün adı verilen bir gezegen– olduğunu gösterdi. Galle daha sonra keşfin sahibinin Le Verrier olduğunu teslim etti.

Bağımsız keşif

Le Verrier bilinmeyen gezegenin konumu hesaplarken, aynı sırada Britanyalı astronom John Couch Adams da (1819-92) Uranüs'ün yörüngesindeki tedirginliklerin nedenine bakıyordu. Tamamen bağımsız bir biçimde Le Verrier'inkine benzer bir sonuca ulaştı ama sonuçları, Galle yeni gezegeni gözlemledikten sonra yayımlandı. Keşfi kimin yaptığına ilişkin bir tartışma çıktı ama Adams, Le Verrier'in hakkı olduğunu her zaman kabul etti.

Neptün'ü gözlemleyen ilk kişi Galle değildi. Neptün'ün yörüngesi belirlendikten sonra, eski kayıtları didikleyip, Galileo ve John Herschel de dahil, başkalarının daha önce bir gezegen olduğunu fark etmeden Neptün'ü gözlemlemiş olduğunu bulmak olanaklı oldu. Daha sonra Le Verrier, benzer bir teknik kullanıp Merkür'ün yörüngesini analiz etti ve yörüngesindeki tedirginliklerin Newton mekaniğiyle açıklanamayacağını gördü. Bunun, Güneş'e daha yakın, geçici olarak Volkan adı verilen başka bir gezegenin etkisinden kaynaklanabileceğini öne sürdü. Einstein kendi genel görelilik teorisini kullanarak tedirginlikleri açıklayınca, bu spekülasyon son buldu. ▪



Urbain Le Verrier

Urbain Le Verrier Paris'e yakın École Polytechnique'te okudu. Mezun olduktan sonra ilk önce kimyaya ilgi duydu, sonra astronomiye yöneldi. Astronomik çalışmaları gök mekaniğine –Güneş Sistemindeki cisimlerin hareketlerini matematiği kullanarak açıklama– odaklandı. Le Verrier Paris Gözlemevinde bir iş buldu, ömrünün çoğunu orada geçirdi ve 1854'ten itibaren de müdürlüğünü yaptı. Ne var ki, yönetim tarzı beğenilmedi ve 1870'te değiştirildi. 1873'te boğulduktan sonra tekrar müdür oldu ve 1877'de ölene kadar görevde kaldı.

Le Verrier meslek yaşamının ilk yıllarını Pierre-Simon Laplace'ın Güneş Sisteminin istikrarı üzerine çalışmalarını geliştirmekle geçirdi. Ardından, periyodik kuyrukluyıldızları inceledikten sonra, dikkatini Uranüs'ün yörüngesi bilmecesine çevirdi.

Önemli eserleri

1846 *Recherches sur les Mouvements de la Planète Herschel (Research on the Movements of the Planet Herschel)*

ASTRO
YÜKSE

1850–1915

FİZİĞİN
.İŞİ

1854

Alman **Gustav Kirchhoff** ve **Robert Bunsen** tayf **çizgilerinin** arkasındaki fiziği araştırır.

1862

İskoç fizikçi **James Clerk Maxwell,** ışığın **dalgalı davranışını** açıklayan bir dizi denklem üretir.

1863

İtalyan rahip **Angelo Secchi**, **yıldızları** tayflarına göre **sınıflandırmak** için bir proje başlatır.

1868

Britanyalı astronom **Joseph Norman Lockyer**, Güneş'te **helyum** adını verdiği yeni bir element keşfeder.

1880

Amerikalı öncü astronomi fotoğrafçısı **Henry Draper**, **Orion bulutsusunun** ilk fotoğrafını çeker.

1888

Uzun pozlandırma fotoğraf kullanan Britanyalı amatör astronom **Isaac Roberts** **Andromeda bulutsusunun** yapıcını açığa çıkarır.

Erken 19. yüzyılda astronomi, esas olarak yıldızları ve gezegenlerin konumlarını kataloglamakla, gezegenlerin hareketlerini anlamak ve öngörmekle ilgilendi. Yeni kuyrukluyıldızlar keşfedilmeye devam edildi ve değişken yıldızlar, çift yıldızlar ve bulutsu nesneler gibi uzak fenomenlere ilişkin artan bir farkındalık vardı. Ne var ki, bu uzak nesneler hakkında – örneğin kimyasal bileşimleri ve ısıları– bilgi edinmenin fazla olanağı yok gibi görünüyordu. Bu sırların kilidini açan anahtar, spektroskopi kullanarak ışık analizi yapmaktı.

Yıldız ışığını çözmek

Parlayan bir nesne bir dizi dalga boyunda ışık saçar; bunu, en uzun dalga boyundan (kırmızı) en kısa dalga boyuna (mor) kadar uzanan bir renk kuşağı olarak algılarız. Bir tayf ayrıntılı incelendiğinde, çok sayıda ince çeşitlilik ortaya çıkabilir. Tipik bir yıldız tayfında, bazıları ince ve soluk, bazıları geniş ve siyah olmak üzüre sayısız koyu çizgi görünür.

Güneş tayfında bu tür çizgiler daha 1802'de fark edilmişti ama belirli bir tür tayfın arkasındaki fiziği inceleyen ilk fizikçiler Gustave Kirchhoff ile Robert Bunsen'di. Bununla birlikte, 1860 civarında Kirchhoff, farklı koyu çizgi örüntülerinin, farklı kimyasal elementlerin tayfsal parmak izleri olduğunu gösterdi. Bu, Güneş'in ve yıldızların bileşimini araştırmanın bir yoluydu. Daha önce bilinmeyen bir elementin, helyumun keşfine bile yol açtı.

Astronominin bu yeni dalı, Britanyalı astronom William Huggins ve gözlem kaydetmenin bir yolu olarak fotoğrafçılığa öncülük eden karısı Margaret tarafından coşkuyla benimsendi. Kendilerini yıldızlarla sınırlamadılar, bulutsuların tayflarını da incelediler.

19. yüzyılın sonuna gelindiğinde, yıldızların doğasını tam olarak anlamak için, yıldızların tayfını sistematik olarak kaydetmek ve farklı tipler

> Bize göre bu uzak Dünya'ların varlığının tek kanıtı ışıktır.
> **James Clerk Maxwell**

1890

Harvard College Gözlemevi ilk *Draper Yıldız Tayfları Kataloğu*'nu çıkarır.

1895

Alman fizikçi **Wilhelm Röntgen** katot ışınlı tüplerle deney yaparken, **X-ışınlarını** keşfeder.

1896

Fransız fizikçi **Henri Becquerel** X-ışınlarını araştırırken, uranyumun **radyoaktif bozunumunun** etkilerini gösterir.

1900

Max Planck enerjinin ancak ayrı "kuantum" büyüklükler halinde var olabileceğini öne sürerek **kuantum mekaniğinin** temellerini atar.

1907

Harvard bilgisayarı **Henrietta Swan Leavitt, Sefeit değişkenler** denilen yıldızların, Evren'deki uzaklıkları ölçmek için nasıl kullanılabileceğini gösterir.

1912

Avusturyalı fizikçi **Victor Hess**, şimdi **kozmik ışın** denilen güçlü ışınların uzaydan geldiğini gösterir.

halinde sınıflandırmak zorunlu gibi görünüyordu.

Yıldız sınıflandırması

Bu büyük işi Harvard College Gözlemevi üstlendi; Gözlemevi müdürü Edward Pickering, titizlik gerektiren işi yapmak için kadınlardan oluşan büyük bir ekip çalıştırdı. Annie Jump Cannon, bugün de kullanılan ve bir ısı dizisine dayanan yıldız sınıflandırma sistemi tasarladı. Cannon, 500.000 kadar yıldız tayfını şahsen sınıflandırdı. Yıldız kataloğu yalnızca yıldızların konumlarını değil, kadirleri (görünür parlaklık) ve tayfları hakkında kesin bilgi de içeriyordu. Bu bilgi, astronomlar yeni verileri analiz ettikçe, hızla ürün verdi. Cannon'un Harvard'daki meslektaşı Antonia Maury, basit ısı dizisinin her yıldız tipi içindeki ince varyasyonları hesaba katmadığını fark etti. Ejnar Hertzsprung ve Henry Norris Russell, birbirinden bağımsız olarak bunu sürdürdü ve sonunda, aynı renkten yıldızların dev ya da cüce olabildiklerinin keşfedilmesine ve bilinen ilk beyaz cüce yıldızın tanımlanmasına yol açtı.

Yıldızların fiziği

50 yıllık bir sürede ileri astronomi odak noktasını değiştirmişti. 20. yüzyılın başında fizik –madde, kuvvet ve enerjinin ve bunların birbiriyle ilişkisinin incelenmesi– Güneş'e ve yıldızlara da uygulanabiliyordu ve astronominin yönünü güçlü bir şekilde etkileyecekti. Temel fizikte anlamlı gelişmeler astronomiyi etkiledi. Örneğin, Briton James Clerk Maxwell 1873'te ışık gibi elektromanyetik ışımayı dalga özellikleri bakımından açıklayan elektromanyetizma teorisini yayımladı. X-ışınları 1895'te, radyoaktivite 1896'da keşfedildi. 1900'de Alman fizikçi Max Planck, elektromanyetik enerjinin "kuanta" denilen tikel büyüklükte "paketler" halinde geldiğini varsayarak kuantum fiziğine zemin hazırladı. Bu keşifler, gökyüzüne bakmanın yeni yollarını sağlayacak ve yıldızların içinde gerçekleşen süreçlere ışık tutacaktı. Fizik ve astronomi bu noktadan sonra birbirinden ayrılamayacaktı. ■



GÜNEŞ ATMOSFERİNDE SODYUM BULUNACAK

GÜNEŞ'İN TAYFI

KISACA

ASTRONOM
Gustav Kirchhoff
(1824–1887)

ÖNCE
1802 İngiliz kimyacı William Hyde Wollaston günışığını dar bir yarıktan ve prizmadan geçirerek Güneş'in tayfının bir görüntüsünü yarattıktan sonra, tayfta yedi koyu çizgi fark eder.

1814 Spektroskobun Alman mucidi Joseph von Fraunhofer Güneş'in tayfında aynı koyulukta 574 çizgi keşfeder. Bunları ayrıntılı bir biçimde haritalandırır.

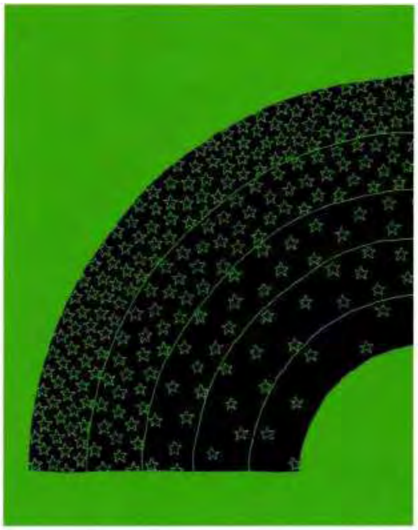
SONRA
1912 Danimarkalı fizikçi Niels Bohr, farklı enerji düzeyleri arasında gidip gelen elektron hareketlerinin, tikel dalga boylarında ışınımın salınmasına ya da soğurulmasına neden olduğu bir atom modeli tanıtır.

1814'te, optik aletler yapan Joseph von Fraunhofer adlı bir Alman, spektroskobu (*bkz.* s. 113'teki şekil) icat etti. Bu alet Güneş'in ya da herhangi bir yıldızın tayfını göstermeyi ve yüksek bir hassasiyetle ölçmeyi olanaklı kıldı. Fraunhofer, Güneş'in tayfından geçen ve her biri kesin bir dalga boyunda (renk) yerleşik 500'den fazla koyu çizgi bulunduğunu fark etti. Bunlar, Fraunhofer çizgileri olarak anıldı.

1850'lere gelindiğinde Alman bilim insanları Gustav Kirchhoff ve Robert Bunsen, farklı kimyasal elementler bir alevde ısıtılırsa, o elemente özgü, varlığına işaret eden bir parmak izi işlevi gören, bir ya da daha fazla dalga boyunda ışık yaydıklarını keşfetmişti. Kirchhoff, bazı elementlerin saldığı ışığın dalga boylarının, Fraunhofer çizgilerinden bazılarının dalga boylarına denk olduğunu fark etti. Özellikle 589,0 ve 589,6 nanometre dalga boylarında sodyum emisyonları, iki Fraunhofer çizgisine tamı tamına denkti. Kirchhoff, Güneş gibi sıcak, yoğun bir gazın bütün dalga boylarında ışık yayacağını ve bu nedenle sürekli bir tayf üreteceğini öne sürdü. Ne var ki, ışık, Güneş'in atmosferi gibi daha soğuk, düşük yoğunluklu bir gazdan geçerse, ışığın bir kısmı, ısıtılınca elementin ışık yaydığı aynı dalga boylarında bir element (örneğin sodyum) tarafından soğurulabilirdi. Işığın soğurulması tayfta, şimdi soğurma çizgileri olarak bilinen aralıklara neden olur. ■

> Güneş'in ve sabit yıldızların kimyasal bileşimini belirlemenin yolu açıktır.
> **Robert Bunsen**

Ayrıca bakınız: Yıldız ışığını analiz etmek 113 ▪ Yıldızların karakteristikleri 122-27 ▪ Yıldız sınıflandırmasını arıtma 138-39 ▪ Yıldız bileşimi 162-63



YILDIZLAR TAYFLARINA GÖRE GRUPLANDIRILABİLİR

YILDIZ IŞIĞINI ANALİZ ETMEK

KISACA

ASTRONOM
Angelo Secchi (1818–1878)

ÖNCE
1802 William Hyde Güneş'in tayfında koyu aralıkların bulunduğunu fark eder.

1814 Alman mercek yapımcı Joseph von Fraunhofer koyu çizgilerin dalga boylarını ölçer.

1860 Gustav Kirchhoff ve Robert Bunsen, yanan elementlerin ürettiği dalga boylarını sistematik kayıtlarını tutmak için bir gaz yakıcı kullanır.

SONRA
1868 İngiliz bilim insanı Norman Lockyer Güneş ışığındaki emisyon çizgilerinden yeni bir elementi, helyumu saptar.

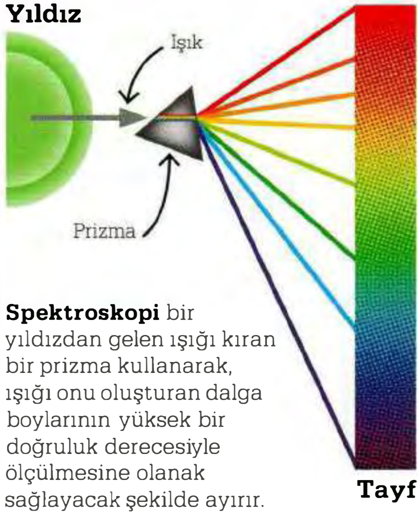
1901 Yıldız tayflarını sınıflandırmak için Wiliamina Fleming ve Annie Jump Cannon'ın tasarladığı Harvard Sistemi, Secchi'nin sisteminin yerini alır.

Angelo Secchi, bir yıldızın yalnızca gökyüzündeki konumuna değil, özniteliklerine de odaklanan bir bilim dalı olan astrofiziğin öncülerinden biriydi. Yıldızları tayflarına ya da yaydıkları ışığın tikel renklerine göre gruplandıran ilk kişiydi.

Dikkate değer bir fizikçi olmanın yanı sıra Cizvit bir rahip de olan Secchi, tarikatın Roma'daki Collegio Romano'sunda yeni bir gözlemevi kurdu. Orada spektroskopinin, yıldız ışığını ölçmenin ve analiz etmenin yeni bir yolunun öncüsü oldu.

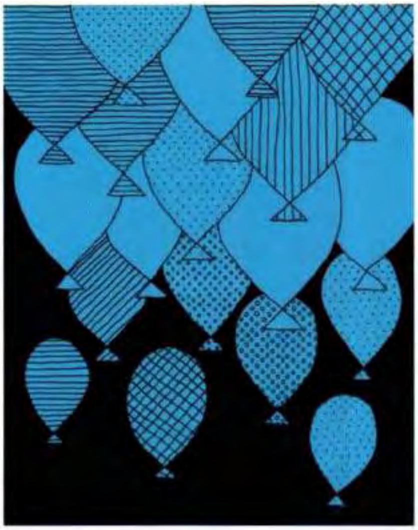
Gustav Kirchhoff, bir yıldız tayfındaki aralıklara özgül elementlerin varlığının neden olduğunu göstermişti (*bkz.* karşı sayfa). Bu bilgiyle silahlanan Secchi, yıldızları tayflarına göre sınırlandırmaya başladı. Başlangıçta üç sınıf kullandı: I. Sınıf, tayflarında büyük miktarda hidrojen gösteren beyaz ya da mavi yıldızlardı; II. Sınıf, metalik tayf çizgileri olan sarı yıldızlardı (astronomlar için, helyumdan ağır her element "metalik"-tir); III. Sınıf, karmaşık bir element dizininin bulunduğu turuncu yıldızlardı. 1868'de Secchi, karbon bulunan daha kırmızı yıldızlar için IV. Sınıfı ekledi ve son olarak 1877'de emisyon çizgileri (diğer dördünde olduğu gibi soğurma çizgileri değil) gösteren yıldızlar için V. Sınıf geldi.

Secchi'nin yıldız sınıfları, daha sonra başka bilim insanlarınca iyileştirildi ve 1880'de, bugüne kadar yıldızları sınıflandırmak için kullanılan Harvard Sisteminin temeli oldu. ■



Spektroskopi bir yıldızdan gelen ışığı kıran bir prizma kullanarak, ışığı onu oluşturan dalga boylarının yüksek bir doğruluk derecesiyle ölçülmesine olanak sağlayacak şekilde ayırır.

Ayrıca bakınız: Güneş'in tayfı 112 ▪ Güneş'in emisyonları 116 ▪ Yıldız kataloğu 120-21 ▪ Yaldızların karakteristikleri 122-27



IŞILDAYAN BÜYÜK GAZ KÜTLELERİ

BULUTSULARIN ÖZNİTELİKLERİ

KISACA

ASTRONOM
William Huggins (1824–1910)

ÖNCE
1786 William Herschel bir bulutsu listesi yayımlar.

1850'ler Gustav Kirchhoff ve Robert Bunsen, sıcak gazların kendi ışık tayflarında parlak emisyon çizgileri ürettiğini, soğuk gazların ise aynı dalga boyunu soğurup tayfta koyu çizgiler ürettiğini anlar.

SONRA
1892 Margaret Higgins, Kraliyet Astronomi Enstitüsünün onur üyesi yapılır.

1913 Danimarkalı Niels Bohr atomları, elektronlarla çevirili bir çekirdek olarak tasvir eder. Tayf çizgileri, elektronlar enerji düzeyleri arasında hareket edince meydana gelir.

1927 Amerikalı Ira Bowen, "nebulium"un neden olduğu iki çizginin, iki elektron kaybeden oksijen atomları tarafından meydana getirildiğini anlar.

1860'larda William Huggins adlı Britanyalı astronom, spektroskop kullanıp yıldızların ve bulutsuların bileşimini inceleyerek önemli keşifler yaptı. Bir teleskoba takılan cam bir prizma olan bu alet, beyaz ışığı onu oluşturan ışık dalga boylarına ayırıp bir renk yelpazesi üretir. Gustav Kirchhoff ve Robert Bunsen, Güneş'in tayfında gerçekleşen koyu soğurma çizgilerini inceleyerek Güneş'in kimyasal bileşimini zaten fark etmişti. Bu çizgilere, belli kesin dalga boylarında ışınım soğuran farklı kimyasal elementlerin atomları neden olur. Huggins, astronom karısı Margaret'in cesaretlendirmesiyle, dikkatini uzayın derinliklerine, bulutsulara, uzun süredir astronomları hayrete düşüren puslu ışık yamalarına yöneltti. Spektroskobu kullanıp, bu yamaları iki farklı tipe ayırdı.

Bulutsuların tayfları

Huggins, Andromeda bulutsusu gibi bulutsuların, Güneş'in ve diğer yıldızlarınkine benzer bir ışık tayfına –koyu soğurma çizgileri olan geniş bir renk bandı– sahip olduklarını gözlemlemişti. Bunun nedeni –Huggins öldükten sonra, 1920'lere kadar keşfedilmedi– bu tür bulutsuların gerçekte yıldızlardan ve galaksilerden oluşmasıydı. Gözlemlediği ikinci tip bulutsu tamamen farklıy-



Ayrıca bakınız: Uranüs'ü gözlemlemek 84-85 ▪ Messier nesneleri 87 ▪ Güneş'in tayfı 112



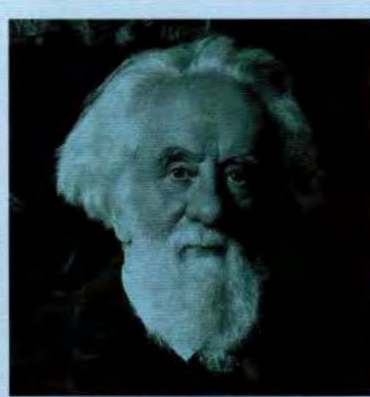
Huggins gezegensel bir bulutsunun (Kedi Gözü bulutsusu) tayfını analiz ederek, yıldızlardan değil gazlardan oluştuğunu doğrulayan ilk kişiydi.

dı. Işık tayfı, tek dalga boylu emisyon çizgilerinden oluşmaktaydı – enerji tek renk olarak yayılıyordu; soğurma çizgileri yoktu.

Huggins bu ikinci tür bulutsuların sıcak, düşük yoğunluklu gaz bulutu olduklarını anladı. Bu gazın bir kısmı, yeni yıldız oluşturma sürecinde olabilirdi; gezegensel bulutsu gibi diğer gaz bulutları, gelişmekte olan yıldızlardan atılmış olabilirdi.

Huggins'in 1864'te Ejderha takımyıldızında bulunan Kedi Gözü gezegensel bulutsusuna ilişkin yaptığı gözlemler, sıcak hidrojen gazının ürettiği tek soğurma çizgili bir tayf açığa çıkardı. Bununla birlikte, bulutsu, bilinen herhangi bir kimyasal elemente karşılık gelmeyen iki güçlü yeşil çizgide enerji de yayıyordu. Bazı astronomlar, bunları, nebulium denilen yeni bir elementin meydana getirdiğini öne sürdü.

Huggins bu spektroskobik gözlemlerden, incelediği bütün gök cisimlerinin, Dünya'yla tamı tamına aynı elementlerden oluştuğu sonucuna vardı. Ne var ki, nebuliumun sırrı o öldükten sonraya kadar çözülmedi. 1927'de, iki kat iyonlaşmış oksijen –elektronlarını yitirmiş ve çift pozitif yüklü oksijen atomları– olduğu anlaşıldı. ▪



William Huggins

William Huggins 30 yaşındayken ailenin kumaşçılık işletmesini sattıktan sonra, Güney Londra'da Tulse Hill'de özel bir gözlemevini yönetti. Yeni servetini kullanıp, 20 santimetrelik güçlü bir mercekli teleskop satın aldı.

1875'te, 51 yaşında olan Huggins, 27 yaşında olan İrlandalı astronomi hayranı Margaret Lindsey'le evlendi; karısı onu tayflarını kaydetmek için fotoğrafı benimsemeye teşvik etti ve sonraki araştırmalarında aktif bir ortağı, birçok makalenin eş-yazarı oldu. Huggins, astronomik nesneleri kaydetmek için fotoğrafı kullanmanın öncüsüydü. Tayf çizgilerindeki Doppler kaymasını kullanarak yıldızların ışınsal hızını inceleme tekniğini de geliştirdi.

Öncü bir astronomik spektroskop uzmanı olan Huggins, 1900'den 1905'e kadar Kraliyet Enstitüsünün başkanlığını yaptı. 1910'da 86 yaşında Tulse Hill'deki evinde öldü.

Önemli eserleri

1870 *Spectrum analysis in its application to the heavenly bodies*
1909 *Scientific Papers*



GÜNEŞ'İN SARI PÜSKÜRMESİ DÜNYA'DAKİ ALEVDEN FARKLIDIR

GÜNEŞ'İN EMİSYONLARI

KISACA

ASTRONOMLAR
Jules Janssen (1824–1907)
Joseph Norman Lockyer (1836–1920)

ÖNCE
1863 Gustav Kirchhoff spektroskobiyi geliştirip, sıcak cisimleri tanımlamak için ışığın nasıl kullanılabileceğini gösterir.

1864 William ve Margaret Huggins, bulutsu tayflarının farklı emisyon çizgileri içerdiğini bulgular, büyük ölçüde gaz bulutları olduklarını gösterirler.

SONRA
1920 Arthur Eddington, yıldızların yakıtını hidrojenin helyuma dönüşmesinden aldığını ifade eder.

1925 Cecilia Payne-Gaposchin, yıldızların büyük ölçüde hidrojen ve helyum elementlerinden oluştuğunu gösterir.

1946 ABD'li kozmolog Ralph Alpher, Evren'deki helyumun çok büyük bölümünün Büyük Patlamadan sonraki ilk birkaç dakikada oluştuğunu hesaplar.

Ağustos 1868'de Fransız astronom Pierre Jules César Janssen bir Güneş tutulmasını gözlemlemek için Hindistan'a gitti. Tutulma, Güneş'in parlak diskini örtüp, yalnızca dar bir ışık halkası bıraktı. Bu halka, Güneş'in üç katmanlı atmosferinin, normalde parıltıdan görülmeyen orta katmanı kromosferdi. Janssen, kromosferin ışık tayfının çok sayıda parlak emisyon çizgisi içerdiğini fark etti. Gustav Kirchhoff'un yaptığı keşfileri kullanan Janssen, kromosferin bir gaz tabakası olduğunu doğrulayabildi. Güneş'in tayfında daha önce görülmeyen bir sarı emisyon çizgisi de fark etti. Bilinmeyen bu ışığın, Güneş'in sarı renk kazanmasına yardımcı olan sodyum tarafından üretildiğini varsaydı.

O yılın ekiminde İngiliz astronom Joseph Norman Lockyer, doğrudan kromosferi gözlemlemek için bir spektroskop geliştirdi. Kromosferin tuhaf ışığını da fark etti ve onunda sodyum tarafından üretildiğini varsaydı; ama kimyacı Edward Frankland'a danıştıktan sonra fikrini değiştirdi –ışık sodyumdan değil,



Tam Güneş tutulması, kromosferi açığa çıkarır. Tutulmanın bir görüntüsü, 1919'da Britanyalı astronom Arthur Eddington tarafından yakalandı.

o zamana kadar bilinmeyen, Güneş'in Yunanca karşılığı *helios* sözcüğünden esinlenerek helyum adını verdiği bir elementten geliyordu. Birkaç yıl helyumun yalnızca Güneş'te var olduğu düşünüldü ama 1895'te İskoç kimyacı William Ramsay, radyoaktif uranyum mineralinden bir örnek yalıtmayı başardı. ■

Ayrıca bakınız: Güneş'in tayfı 112 ▪ Yıldızların içinde nükleer füzyon 166-67 ▪ İlkel atom 196-97



MARS, YOĞUN BİR KANAL AĞIYLA KAPLIDIR

MARS'IN YÜZEYİNİ HARİTALANDIRMAK

KISACA

ASTRONOM
Giovanni Schiaparelli
(1835–1910)

ÖNCE
1858 Angelo Secchi, Mars'la bağlantılı olarak ilk kez *canali* (kanallar) sözcüğünü kullanır.

SONRA
1897 İtalyan astronom Vincenzo Cerulli, Mars kanallarının yalnızca bir optik yanılsama olduğunu farz eder.

1906 Amerikalı astronom Percival Lowell'in kitabı *Mars and Its Canals,* Mars'ta akıllı varlıklarca inşa edilmiş yapay kanallar olabileceği düşüncesini öne sürer.

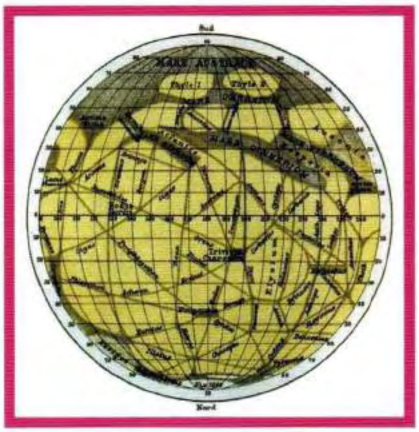
1909 Fransa'da Pic du Midi gözlemevinde yeni Baillaud kubbesinden çekilen Mars fotoğrafları, Mars kanalları teorisini gözden düşürür.

1960'lar NASA'nın Mars'ın yanından geçen uzay aracı Mariner, kanallara ilişkin hiçbir görüntü yakalayamaz ya da herhangi bir kanıt bulamaz.

19. yüzyılın ortasına gelindiğinde bilim insanları, buz örtüsü, benzer gün uzunluğu ve mevsimler yaşadığı anlamına gelen eksen eğikliği gibi, Dünya'yla belli benzerlikleri olduğu görülen Mars'ta yaşam olasılığıyla ilgili giderek daha fazla spekülasyon yapıyorlardı. Ne var ki, Mars'ta yağmur yağmadığı da görülmüştü.

1877 ile 1890 arasında İtalyan astronom Giovanni Schiaparelli, Mars yüzeyinin bir haritasını çıkarmak için bir dizi ayrıntılı gözlem gerçekleştirdi. Schiaparelli, koyu alanları "deniz" ve daha açık alanları "kıta" olarak tanımladı. Ayrıca Mars'ın ekvator bölgelerinde bir birini kesen uzun, koyu, düz çizgiler ya da çubuklardan oluşan bir ağı da resmetti. *Life on Mars (Mars'ta Yaşam)* kitabında Schiaparelli, yağmur yağmadığı için bu kanalların, yaşamın var olmasına olanak sağlamak üzere gezegenin kuru yüzeyine su taşıma mekanizması olabileceğini öne sürdü.

İzleyen yıllarda, Amerikalı astronom Percival Lowell de dahil, çok sayıda ünlü bilim insanı bu koyu çizgilerin, Mars'taki akıllı varlıklarca inşa edilen sulama kanalları olduğunu tahmin etti. Ne var ki, başkaları baktığında kanal göremiyordu ve 1909'a gelindiğinde yüksek çözünürlüklü teleskoplarla yapılan gözlemler, Mars kanallarının var olmadığını doğruladı. ■



Schiaparelli'nin 1888 tarihli Mars atlası karayı, denizleri ve bir düz kanal ağı gösterir. Burada güney kutbu yukarıda gösteriliyor.

Ayrıca bakınız: Satürn'ün halkalarını gözlemlemek 65 ■ Güneş ışığını analiz etmek 113 ■ Diğer gezegenlerde yaşam 228-35



YILDIZLARI FOTOĞRAFLAMAK

ASTRONOMİ FOTOĞRAFÇILIĞI

KISACA

ASTRONOM
David Gill (1843–1914)

ÖNCE
1840 Amerikalı John Draper 20 dakikalık bir ışıklama kullanarak Ay'ın ilk fotoğrafını çeker.

1880 John Draper'in oğlu Henry, Oiron bulutsusunun 51 dakikalık görüntüsünü alır. Bir kuyrukluyıldızın kuyruğunun ilk geniş açılı fotoğrafını da çeker.

SONRA
1930 ABD'li astronom Clyde Tombaugh fotoğraf plakalarında hareket eden bir nesne saptayarak Plüton'u keşfeder.

1970'ler Yük-bağlaşımlı aygıt, fotoğraf plakalarının ve filmin yerine dijital fotoğrafları geçirir.

1998 Sloan Digital Sky Survey (Sloan Dijital Gökyüzü Araştırması), bir 3D galaksi haritası yapmaya başlar.



Isaac Newton'un kütleçekim teorisi, Bilimsel Devrimin (s. 42-43) birçok ilerlemesi gibi, Evren'in bir saat gibi çalıştığı inancına dayanmaktaydı. 1880'lerde, İskoçya'da Aberdeenli saat ustası David Gill, hassas saat yapma mekanizmasını astronomi teleskoplarına uyguladı –ve işin garibi, bütün yıldızların saat gibi uyum halinde hareket etmediklerini göstermenin bir yolunu sundu.

Gill astronomi fotoğrafçılığı alanında bir öncüydü. 1860'ların ortasında, hâlâ babasının arka bahçesinde çalışan amatör bir astronomken, 30 santimetrelik aynalı teleskobu için bir kaydırma ayağı yaptı ve onu kullanıp, Ay'ın daha önce görülmemiş netlikte fotoğrafını çekti. Fotoğraflar Gill'e Kraliyet Astronomi Enstütüsüne üyelik ve 1872'de Aberdeen'de Dunecht Gözlemevinde profesyonel astronom olarak ilk işini kazandırdı.

Gill, teleskobun Dünya'nın dönüşüyle neredeyse kusursuz uyum içinde hareket edebilmesi için, saat

Ayrıca bakınız: Tycho modeli 44-47 ▪ Güney yıldızları haritası 79 ▪ Messier nesneleri 87 ▪ Uzay teleskopları 188-95 ▪ Gökyüzünün dijital manzarası 296 ▪ Roberts (Rehber) 336 ▪ Kapteyn (Rehber) 337 ▪ Barnard (Rehber) 337

mekanizmasını teleskop tabanına uyguladı. Bu, aletin sabit kalmasını ve gökyüzünün tek bir parçasına odaklanmasını olanaklı kıldı. Gill gökyüzünü teleskopla fotoğraflamaya çalışan ilk kişi değildi ama soluk gök ışığını görüntülemek, en az birkaç dakikalık ışıklamayı gerektiriyordu ve kötü kaydırma nedeniyle, ilk yıldız fotoğraflarının çoğu anlaşılmaz ölçüde bulanıktı.

Güney göğü

1879'da Gill, Güney Afrika'da Cape Gözlemevinde baş astronom oldu. Artık kuru-plaka sistemini (ışığa duyarlı kimyasallarla kaplanmış hazır fotoğraf plakası) kullanıyordu; 1882'de güney yarımkürede görünen Büyük Kuyrukluyıldızı çekmek için de bu sistemi kullandı.

Hollandalı astronom Jacobus Kapteyn'le birlikte çalışan Gill, sonraki yirmi yılın en iyi kısmını güney göğünün fotoğraf kaydını yaratmakla geçirdi. Sonuç, yaklaşık yarım milyon yıldızın konumunu ve kadirini gösteren *Cape Phtographic Durchmusterun* (katalog) oldu. Gill, yıldızların kesin bir fotoğraflı haritasını yapma amacıyla gözlemevlerinin 1887'de başlattığı küresel bir işbirliği projesi *Carte du Ciel*'de ("Gökyüzünün Haritası") de önemli bir şahsiyet oldu. İddialı, pahalı ve on yıllar süren bu proje, fotoğraf plakalarını elle ölçecek bir insan bilgisayarlar ekibini gerektirmekteydi. Ne var ki, proje bitmeden yeni yöntemler ve teknolojiler devreye girdi.

Gill'in fotoğraf teknikleriyle üretilen doğru haritalar bugün dikkate değer görünmeyebilir ama 20. yüzyılın başında, yakın yıldızların uzak yıldızlara göre özdevinimlerini göstermenin ilk güvenilir araçlarıydı. Bu bilgi, yıldız uzaklıklarını büyük ölçekte ölçmek bakımından paha biçilmezdi; galaksinin ve ötesindeki Evren'in gerçek ölçeğini astronomlara göstermeye başladı. ■



David Gill'in astronom arkadaşı Frank McClean, 1897'de McClean Teleskobunun Cape Gözlemevi'ne bağışladı. David Gill, bu teleskoptan oldukça yararlandı.

David Gill



Başarılı bir saatçinin en büyük oğlu olan David Gill'in kaderinde aile işini üstlenmek vardı. Ne var ki, Aberdeen Üniversitesindeyken, dersleriyle Gill'e astronomi tutkusu aşılayan büyük fizikçi James Clerk Maxwell'in öğrencisi oldu. 1872'de profesyonel astronom işi teklif edilince Gill aile işletmesini sattı ve Aberdeen'de Dunecht Gözlemevinde çalışmaya başladı.

Gill astronomi fotoğrafçılığına öncülük etmenin yanı sıra, yıldız paralaksını ölçme aygıtı helyometreyi de geliştirdi (s. 102). Yıldız haritalarıyla birlikte kullanılan ölçümleri, yıldızlar arasındaki uzaklığı açığa çıkarmak bakımından çok işe yaradı. 1906'da Cape Gözlemevinden ayrıldığı sırada Gill ünlü bir astronomdu. Son işlerinin birinde, hükümet yaz saati uygulaması için ona danıştı.

Önemli eserleri

1896–1900 *Cape Photographic Durchmusterung* (Jacobus Kapteyn ile birlikte).



HASSAS BİR YILDIZ ÖLÇÜMÜ

YILDIZ KATALOĞU

KISACA

ASTRONOM
Edward C. Pickering
(1846–1919)

ÖNCE
1863 Angelo Secchi, yıldızları tayfa göre sınıflandırmayı geliştirir.

1872 Amerikalı amatör astronom Henry Draper, Vega'nın tayf çizgilerini fotoğraflar.

1882 David Gill güney gökyüzünü fotoğraf kullanarak incelemeye başlar.

SONRA
1901 Annie Jump Cannon, Pickering ile birlikte, yıldız sınıflandırmanın temelini oluşturan Harvard Sınıflandırma Şemasını yaratır.

1912 Henrietta Swan Leavitt, Sefeit değişkenlerin periyodlarını uzaklıklarıyla ilişkilendirir.

1929 Edwin Hubble, Sefeit değişkenleri kullanarak yakın galaksilere uzaklığı ölçer.

Edward C. Pickering, 1877'den 1906'ya kadar Harvard College Gözlemevinin müdürüyken, hassas yıldız astronomisinin temellerini attı. Ekibi, Evren'in ölçeğini anlamada yeni bir çığır açan yıldız incelemeleri gerçekleştirdi. Pickering bir yıldızın konumunu, kadirini ve tayf tipini sıralayarı bir katalog yaratmak için, astronomi fotoğrafçılığında en son teknikleri spektroskobuyla (ışığı dalga boylarına ayırma) ve fotometriyle (yıldızların kadirini ölçme) birleştirdi. Bunu Harvard "bilgisayarları"nın –kataloğu yaratmak için gerekli olan çok büyük miktarda verinin işlenmesini Pickering'in güvendiği matematiksel kapasiteye sahip kadınlardan oluşan bir ekip– yardımıyla yaptı.

Harvard Gözlemevinde, daha az aydınlanmış olan o günlerde "Pickering'in Haremi" olarak bilinen 80'den fazla bilgisayar çalıştı. Bunların ilki, Pickering'in hizmetçisi Williamina Fleming'di. Pickering gözlemevinin yönetimini üstlenince "yetersiz" bulduğu erkek asistanını kovdu ve onun yerine Fleming'i aldı. Antonia Maury, Henrietta Swan Leavitt ve Annie Jump Cannon, bilgisayarlar arasında bulunan diğer ünlü isimlerdi.

> 1880'lerde ve 1890'larda Harvard dışında kadınların astronomiyle uğraşma şansı yoktu. Orada bile işler zordu.
> **William Wilson Morgan**
> ***ABD'li astronom***

Renk ve parlaklık

Pickering'in yıldız kataloğuna bireysel katkıları iki katmanlıydı. 1882'de yıldızların ışığını büyük bir prizmadan geçirip fotoğraf plakalarına aktararak çok sayıda yıldız tayfını eşzamanlı fotoğraflama yöntemini geliştirdi. 1886'da bir yıldızın görünür kadrini ölçmek için bir aygıt, bir kama fotometre tasarladı. Daha önce kadirler, psikometriyle –bir yıldızın parlaklığını başka bir yıldızın parlaklığıyla karşılaştırmanın aracı olarak çıplak gözü kullanmak– kaydedilmişti. Kama fotometre daha

Ayrıca bakınız: Güneş'in tayfı 112 ▪ Yıldızların karakteristikleri 122-27 ▪ Yıldız tayflarını sınıflandırma 128 ▪ Evren'i ölçmek 130-37

nesneldi; gözlemci hedef yıldıza, kabul edilmiş bir parlaklığa sahip birkaç yıldızdan biriyle birlikte bakar ve bilinen kaynağın önüne kalsit bir kama sokup, iki kaynak aynı parlaklığa sahip gibi görünene kadar kadrini kademeli olarak azaltır.

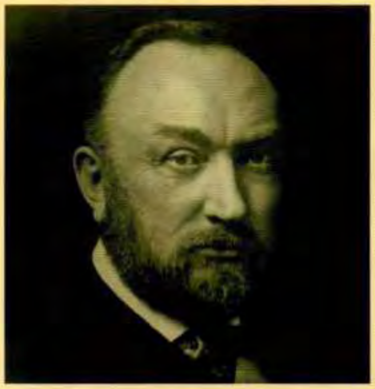
1886'da, tayf fotoğrafçılığının öncüsü Henry Draper'in dul karısı Mary Draper, kocası adına Pickering'in çalışmalarına maddi destek vermeyi kabul etti. 1890'da ilk *Draper Catalogue of Stellar Spectra (Draper Yıldız Tayfları Kataloğu)* yayımlandı. Sonra Pickering güney gökyüzünü incelemek ve bütün gökyüzünün ilk fotoğraflı haritasını çıkarmak için Peru'da, Arequipa'da bir gözlemevi açtı.

Pickering'in verileri, Harvard bilgisayarlarının çalışmasıyla birlikte, 1918'de yayımlanan ve bütün gökyüzünde 225.300 yıldızın tayf sınıflandırmasını içeren *Henry Draper Catalogue*'un temelini oluşturdu. ■

> Tanrı'nın matematikçi olup olmadığını bilmiyorum ama matematik, Tanrı'nın Evren'i dokuduğu tezgâhtır.
> **Edward C. Pickering**



Harvard bilgisayarlarının çoğu astronomi eğitimi görmüştü ama kadın olarak, akademik görevlerden dışlanmışlardı. Maaşları, vasıfsız işçilerin maaşı gibiydi.



Edward C. Pickering

Edward C. Pickering 20. yüzyılın başında Amerikan astronomisinin egemen şahsiyetiydi. Bugünkü astrofiziğin ve kozmolojinin gelişmesinde ilk adımların çoğu, Harvard College Gözlemevinde onun çalıştırdığı insanlar tarafından atıldı. Kadınların eğitimine ve araştırmadaki rollerine ilişkin tutumundan ötürü ilerici olarak bilinen Pickering, yine de, ekibi üzerinde katı bir otorite kurdu. Birçok kez, hemfikir olmadığı ama daha sonra haklı oldukları kanıtlanan araştırmacıları işi bırakmaya mecbur etti; yıldız tayfları üzerine çalışması Pickering tarafından önemsenmeyen Atonia Maury bunun bir örneğidir.

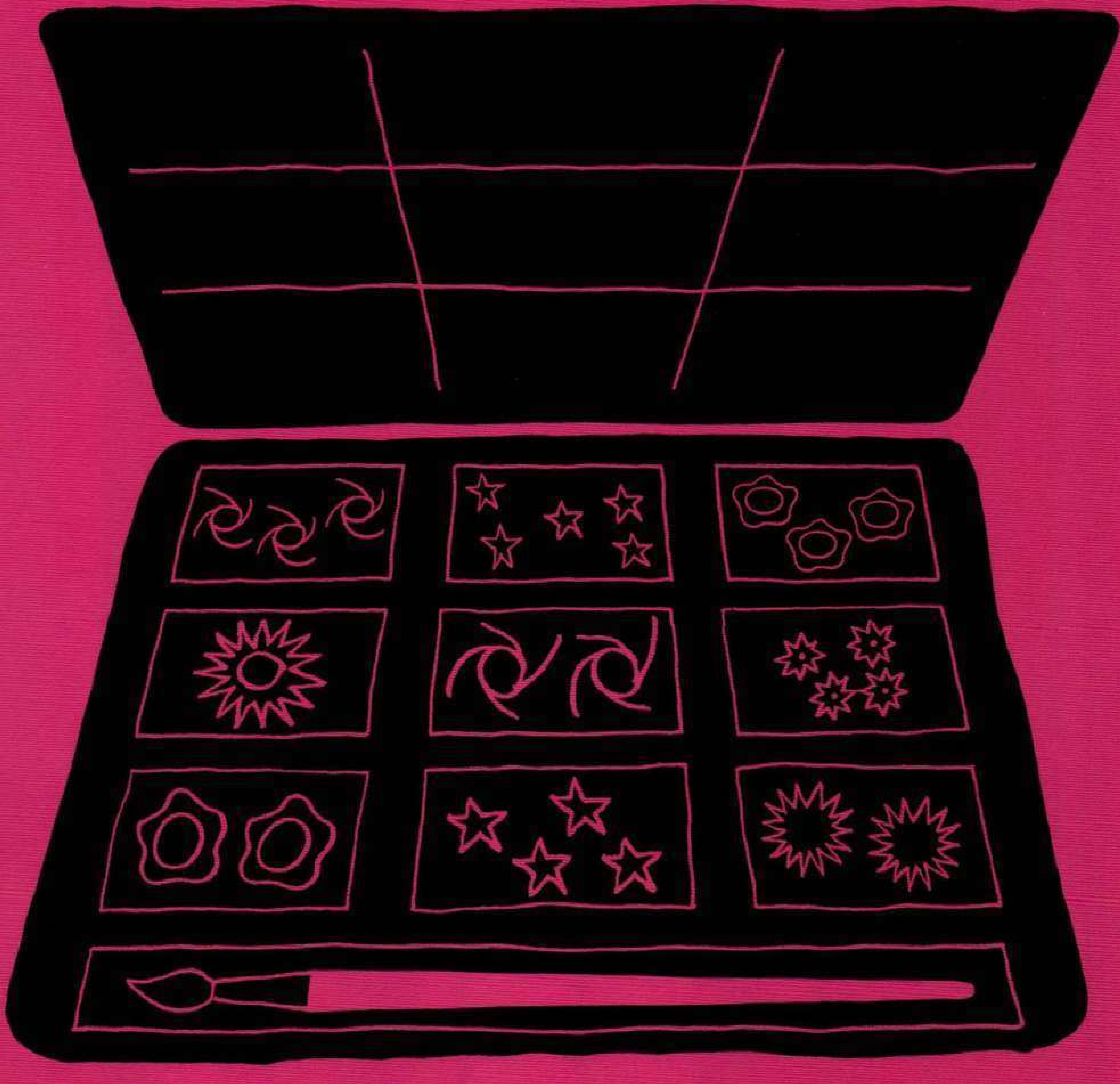
Pickering bütün meslek yaşamını akademide geçirdi ama aynı zamanda bir doğa insanıydı ve Appalachian Dağ Kulübünün kurucu üyesiydi. Kulüp, yaban yaşamı koruma hareketinde öncü bir ses oldu.

Önemli eserleri

1886 *An Investigation in Stellar Photography*
1890 *Draper Catalogue of Stellar Spectra*
1918 *Henry Draper Catalogue*

YILDIZLARI TAYFLARINA GÖRE SINIFLANDIRMAK, YAŞLARINI VE BÜYÜKLÜKLERİNİ AÇIĞA VURUR

YILDIZLARIN KARAKTERİSTİKLERİ



KISACA

ASTRONOM
Annie Jump Cannon
(1863–1941)

ÖNCE
1860 Gustav Kirchhoff, yıldız ışığındaki elementleri tanımlamak için spektroskobinin kullanılabileceğini gösterir.

1863 Angelo Secchi, tayflarını kullanarak yıldızları sınıflandırır.

1868 Jules Janssen ve Joseph Norman Lockyer, Güneş tayfında helyumu keşfeder.

1886 Edward Pickering bir fotometre kullanarak Henry Drapek Kataloğunu hazırlamaya başlar.

SONRA
1910 Hertzsprung-Russell diyagramı, farklı yıldız büyüklüklerini açığa vurur.

1914 ABD'li astronom Walter Adams, bir beyaz cüce kaydeder.

1925 Cecilia Payne-Gaposchkin, yıldızların neredeyse tamamen hidrojenden ve helyumdan oluştuğunu bulgular.

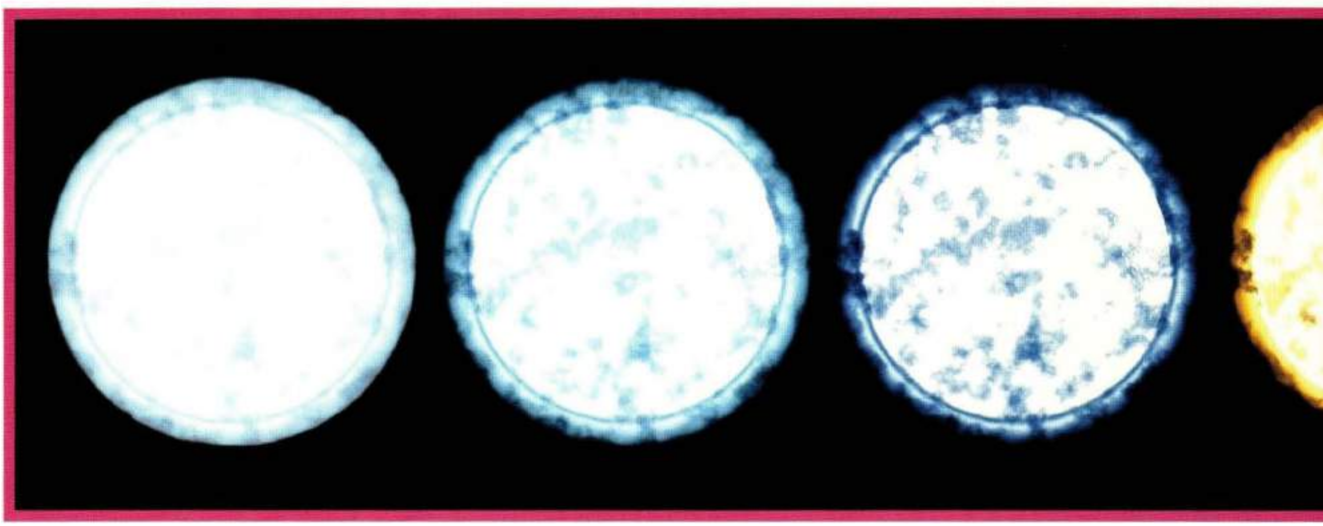
Amerikalı astronom Annie Jump Cannon, 20. yüzyılın başında yıldız tayfları konusunda önde gelen otoriteydi. Cannon 1941'de öldüğünde, "dünyanın en dikkate değer kadın astronomu" olarak nitelendi. Büyük katkısı, bugün hâlâ kullanılan yıldız tayflarını sınıflandırma sisteminin temelini yaratmaktı.

Cannon, Harvard College Gözlemevinde "Harvard Bilgisayarları" ekibinin, müdür Edward C. Pickering'in yeni bir yıldız kataloğu hazırlamaya yardım etmeleri için çalıştırdığı kadın grubunun bir üyesi olarak çalıştı. Astronomi fotoğrafçısı Henry Draper'in dul karısının mali desteğiyle 1880'lerde başlanan katalog, olabildiğince çok yıldızın tayfını almak da dahil, gökyüzünde belli bir kadirden daha parlak her yıldızla ilgili veri toplamak için yeni teknikler kullandı. 1860'larda Angelo Secchi yıldızları tayflarına göre sınıflandırmak için geçici bir sistem hazırlamıştı. Pickering'in ekibi bu sistemi değiştirdi. 1924'e gelindiğinde, katalog 225.000 yıldız içermekteydi.

> Her cisim, kendine ait belirli dalga boyunda titreşimler gönderir; bunlar, kendi şarkısını söylemeye benzetilebilir.
> **Annie Jump Cannon**

İlk yaklaşımlar

İlk önce Pickering'in ilk kadın bilgisayarı Wiliamina Fleming, Secchi'nin sınıflarını A'dan N'ye kadar (I hariç) harflerle etiketlediği 13 bölüme ayırıp, O, P ve Q harflerini de ekleyerek daha ayrıntılı bir sınıflandırma sistemi yaratma girişiminde bulundu. Çalışmanın bir sonraki evresinde, bütün Dünya'daki gözlemevlerinden alınan daha iyi verilerle çalışan Antonia Maury, ayrıntılarda daha fazla çeşitlilik fark etti. Roma rakamlarıyla gösterilen, her biri üç



Tayflarına ve ısılarına göre kategorileştirilen yedi ana yıldız sınıfı, O en sıcağı ve M en soğuğu olmak üzere soldan sağa: O, B, A, F, G, K ve M.

Ayrıca bakınız: Güneş'in tayfı 112 ▪ Yıldız ışığını analiz etmek 113 ▪ Güneş'in emisyonları 116 ▪ Yıldız kataloğu 120-21 ▪ Soğurma çizgilerini analiz etmek 128 ▪ Yıldız sınıflandırmasını arıtmak 138-39 ▪ Yıldız bileşimi 162-63

alt-gruba bölünen 22 grupluk daha karmaşık bir sistem tasarladı. Pickering, böylesine ayrıntılı bir şema uygulamanın kataloğu tamamlamayı geciktireceğinden endişe etti. Ne var ki, Maury'nin yıldız sınıflandırmasına yaklaşımının, 1910'da Hertzsprung-Russell diyagramının yaratılması ve daha sonra yıldızların evrimiyle ilgili keşifler yönünde atılmış can alıcı bir adım olduğu anlaşıldı.

Cannon Harvard College Gözlemevinin kadrosuna 1896'da katıldı ve kataloğun 1901'de yayınlanan bölümünde çalışmaya başladı. Pickering'in onayıyla sınıflandırmayı daha net ve kolay yapmak için, Fleming'in harflerle gösterilen tayf sınıflarına geri döndü ama sırasını değiştirdi.

Maury, benzer renklerde yıldızların tayfta aynı karakteristik soğurma çizgilerine sahip olduklarını anlamıştı. Bir yıldızın ısısının tayfının görünüşünü etkileyen ana faktör olduğu sonucunu da çıkarmıştı ve kendi sınıflarını, sıcaktan soğuğa bir ısı dizisi haline getirdi. Bu konuda Cannon, Maury'nin yolundan gitti.

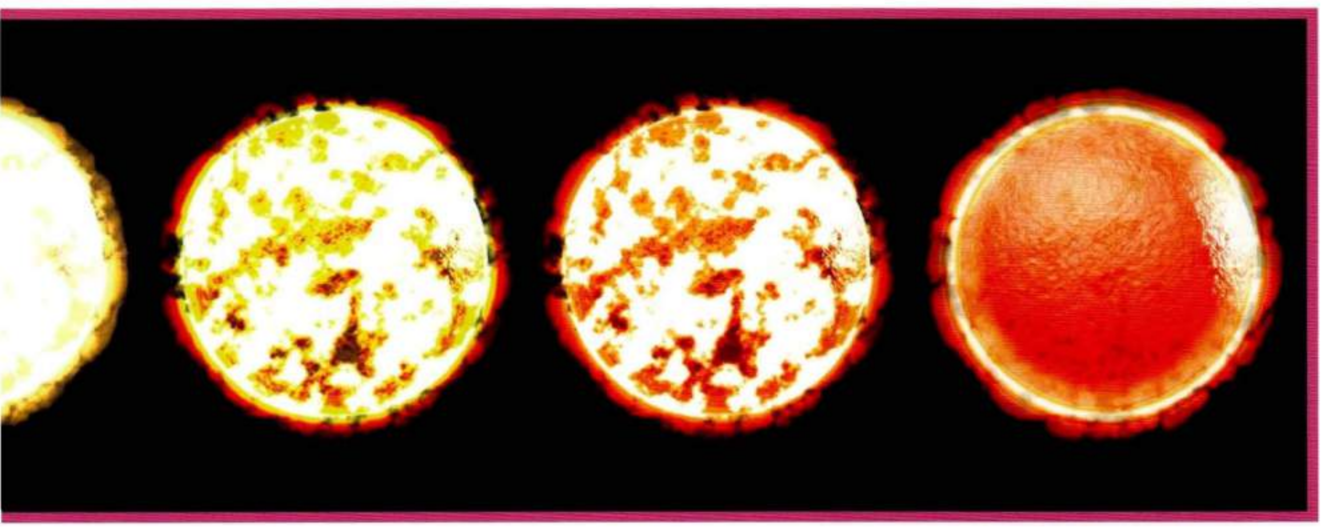


Fleming'in bazı harfleri, gereksiz oldukları için, çıkarıldı; böylece son sıralama, özellikle hidrojenden ve helyumdan kaynaklanan belli tayf çizgilerinin görünüşüne ve gücüne dayanarak O, B, A, F, G. K, M oldu. İngilizce öğrenim gören astronomi öğrencileri hâlâ Henry Norris Russell'a atfedilen anımsatıcı ifadeyi hatırlayarak öğrenirler: Oh Be A Fine Girl, Kiss Me.

Harvard sistemi

Cannon'un 1901 sistemi, Harvard Tayf Sınıflandırma sisteminin temellerini attı. 1912'ye gelindiğinde daha da genişletip daha kesin bir dizi alt sınıf tanıtmış, en sıcak sınıf 0, en soğuğu 9 olmak üzere 0'dan 9'a kadar rakam eklemişti. O günden bugüne birkaç yeni sınıf eklenmiştir.

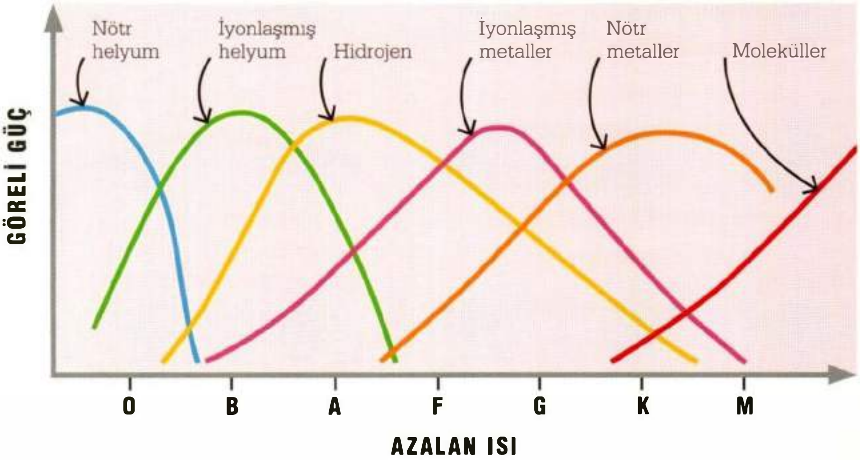
Harvard sistemi esas olarak yıldızları ısılarına göre sınıflandırır ve yıldızın aydınlatma gücünü ya da büyüklüğünü hesaba katmaz. Bununla birlikte, 1943'te ek bir boyut olarak aydınlatma gücü de eklenip, Yerkes sınıflandırma sistemi yaratıldı; bu sisteme, Wisconsin'de Yerkes



Gözlemevinde sistemi formüle eden astronomlar William Morgan, Philip Keenan ve Edith Kellman'ın adından hareketle MKK sistemi de denilir. Bu sistem aydınlatma gücünü Roma rakamlarıyla gösterir ama birkaç harf de kullanılır.

MKK sisteminin avantajı yıldıza hem bir büyüklük hem de bir ısı vermesidir; böylece yıldızlar beyaz cüce, kırmızı dev ya da mavi üstdev gibi konuşma dili terimleriyle tarif edilebilir. Güneş de dahil, ana sekans yıldızlarının tümü cüce denilecek kadar küçüktür. Güneş, bir G2V yıldızıdır; bu onun, yüzey sıcaklığı yaklaşık 5800 Kelvin olan bir sarı cüce olduğunu gösterir.

Farklı elementlerin soğurma çizgilerinin gücü, yıldızın yüzey sıcaklığına göre değişir. Ağır elementlerin çizgileri daha soğuk yıldızların tayflarında daha belirgindir.



Sınıflar ve karakteristikler

En sıcak yıldız sınıfının, O-tiplerin, 30.000 K'yı aşan bir yüzey sıcaklığı vardır. Bu yıldızların yaydığı ışınımın çoğu, tayfın morötesi kısmındadır ve görünür ışıkta bakıldığında mavi görünür. O-tipi yıldızlar esas olarak devdir, cüssesi Güneş'in 20 katı, genişliği 10 katıdır. Ana sekans yıldızların yalnızca yüzde 0,00003'ü bu kadar sıcaktır. Bu yıldızlar yakıtlarını çok hızlı yakar ve çok büyük miktarda enerji salar. Sonuç olarak ömürleri kısadır; yaşları milyarlarla ölçülen soğuk yıldızların yanında, ömürleri on milyonlarla ölçülür. Bu sınıfın üyelerinin tayflarında zayıf hidrojen çizgileri ve yüksek sıcaklıktan ötürü iyonlaşmış helyuma ilişkin güçlü kanıtlar vardır.

> Prizma, gök cisimlerinin doğasını bir miktar bize gösterdi ve fotoğraf plakası da, gökyüzünün durumunun kalıcı bir kaydını oluşturdu.
>
> **Williamina Fleming**

Yüzey sıcaklıkları 10.000 ile 30.000 K arasında olan B-tipi yıldızlar, soğuk olmalarına rağmen, görünür ışıkta O-tipi yıldızlardan daha parlaktır. Bunun nedeni, ışınımın çoğunun görünür ışık olarak yayılmasıdır; bu durum onları "mavi-beyaz" yapmaktadır. Yine B-tipi cüceler enderdir; ana sekans yıldızların yüzde 0,1'inden azını oluştururlar. Meydana geldiklerinde, olasılıkla Güneş'ten 15 kat daha cüsselidirler. B-tipi yıldızların tayflarında iyonlaşmamış helyum ve daha fazla hidrojen kanıtı vardır. B-tipi yıldızlar yalnızca kısa bir süre yaşadıkları için moleküler bulutlarda ya da yıldız-oluşumu bölgelerinde bulunurlar; çünkü oluştukları yerden çok uzağa gitmek için zamanları yoktur.

Güneş'in yaklaşık iki katı büyüklüğünde olan ana sekans A-tipi yıldızların yüzey sıcaklığı 7500 ile 10.000 K arasındadır. Tayflarında güçlü hidrojen çizgileri vardır ve beyaz (mavimsi bir izle birlikte) görünmelerini sağlayan geniş bir görünür ışık tayfı yayarlar. Sonuç olarak, gece gökyüzünde en kolay görülen yıldızlardır ve Vega (Çalgı takımyıldızında), Gamma Ursae Majoris (Büyükayı takımyıldızında) ve Deneb (Kuğu takımyıldızında) bu tip yıldızlar arasındadır. Bununla birlikte, ana sekans yıldızların yalnızca yüzde 0,625'i A-tipi yıldızdır.

Soğuyan yıldızlar

Cüce yıldızlar soğurken, tayflarındaki hidrojenin yoğunluğu azalır. Metallerden ötürü daha fazla soğurma çizgisi de sergilerler. (Bir astronom için helyumdan ağır olan her şey metaldir.) Bunun nedeni, bileşimlerinin daha sıcak yıldızlarınkinden farklı olması değil, yüzeye yakın gazın daha soğuk olmasıdır. Daha sıcak yıldızlarda atomlar, soğurma çizgileri yaratamayacak kadar çok iyonlaşmıştır. F-tipi yıldızların yüzey sıcaklığı, 6000 ile 7500 K arasındadır. Sarı-beyaz cüce denilen bu yıldızlar ana sekansın yüzde 3'ünü oluştururlar ve Güneş'ten biraz büyüktürler. Bu yıldızların tayfları orta yoğunlukta hidrojen çizgileri ile

demir ve kalsiyumu güçlendiren çizgiler içerir.

Güneş'in sınıfı

Güneş'in bir üyesi olduğu G-tipi sarı cüceler, ana sekansın yüzde 8'ini oluşturur. Yüzey sıcaklıkları 5200 ile 6000 K arasındadır ve tayflarında zayıf hidrojen çizgileri, daha belirgin metal çizgileri vardır. K-tipi cüceler turuncudur ve ana sekansın yüzde 12'sini oluştururlar. Yüzey sıcaklıkları 3700 ile 5200 K arasındadır ve çok zayıf hidrojen soğurma çizgileri, manganez, demir ve silikon dahil güçlü metalik çizgileri vardır. M-tipi yıldızlar, kırmızı cücelerdir. Bunlar en yaygın ana sekans yıldızlarıdır, toplamın yüzde 76'sını oluştururlar ama hiçbir kırmızı cüce çıplak gözle görülmez. Yüzey sıcaklıkları 2400-3700 K'dır ve tayflarında, oksit bileşiklerin soğurma bantları vardır. Sarı, turuncu ve kırmızı cücelerin çoğunluğunun, gezegen sistemine sahip olduğuna inanılıyor.

Geniş sınıflandırma

Yıldız tayfı sınıfları, artık daha fazla yıldız tipini kapsamaktadır. W-sınıfının, ölmekte olan üstdev yıldız oldukları sanılmaktadır. C-sınıfı ya da karbon yıldızlar, gerileyen kırmızı devlerdir. L, Y ve T-sınıfları, en soğuk kırmızı cücelerden, yıldız olarak sınıflandırılacak kadar büyük ya da sıcak olmayan kahverengi cücelere kadar uzanan soğuk nesnelerdir. Son olarak, beyaz cüceler D-sınıfı yıldızlardır. Bunlar, artık füzyonla yanmayan ve giderek soğuyan kırmızı dev yıldızların sıcak çekirdekleridir. Sonunda solup siyah cücelere dönüşürler ama bunun gerçekleşmesinin bir katrilyon yıl alacağı hesaplanmaktadır. ■



Bir beyaz cüce, Helix gezegensel bulutsusunun kalbinde oturuyor. Yakıtı bittiğinde, Güneş de bir beyaz cüce olacaktır.



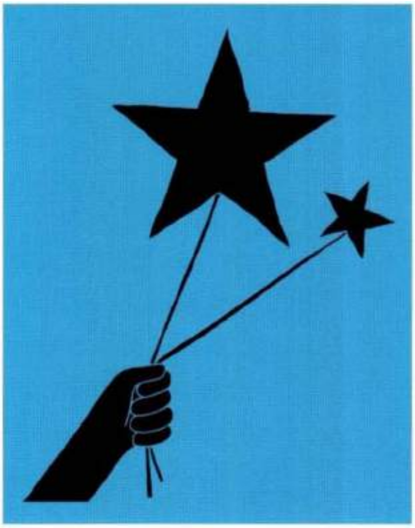
Annie Jump Cannon

Delaware'de doğan Annie Jump Cannon eyalet senatörünün kızıydı ve annesi onu astronomiyle tanıştırdı. Yalnızca kadınların gittiği bir üniversite olan Wellesley College'de fizik ve astronomi okudu. 1884'te mezun olan Cannon evine dönüp sonraki on yıl boyunca ailesinin yanında kaldı. 1894'te annesi ölünce Wellesley'de ders vermeye başladı ve iki yıl sonra Edward C. Pickering'in Harvard Bilgisayarlarına katıldı.

Cannon sağırdı ve bu nedenle sosyalleşmede çektiği güçlükler, bilimsel çalışmalara gömülmesine yol açtı. Bütün meslek yaşamı boyunca Harvard'da kaldı ve 44 yılda 350.000 yıldızı sınıflandırdığı söylenir. Cinsiyetinden ötürü meslek yaşamında birçok sınırlamayla karşılaşan Cannon, sonunda 1938'de Harvard fakültesi üyeliğine atandı. 1925'te Oxford Üniversitesi tarafından fahri doktorluk unvanıyla ödüllendirilen ilk kadın oldu.

Önemli eserleri

1918–24 *The Henry Draper Catalogue*



İKİ TÜR KIRMIZI YILDIZ VARDIR

SOĞURMA ÇİZGİLERİNİ ANALİZ ETMEK

KISACA

ASTRONOM
Ejnar Hertzsprung
(1873–1967)

ÖNCE
1866 Angelo Secchi, tayf karakteristiklerine göre ilk yıldız sınıflandırmasını yaratır.

1880'ler Harvard College Gözlemevinde Edward Pickering ve Williamina Fleming, daha ayrıntılı bir sınıflandırma sistemi kurdu.

1890'lar Antonia Maury yıldız tayflarını sınıflandırma konusunda, tayf çizgilerinin genişlik ve keskinlik farklarını da hesaba katan kendi sistemini geliştirir.

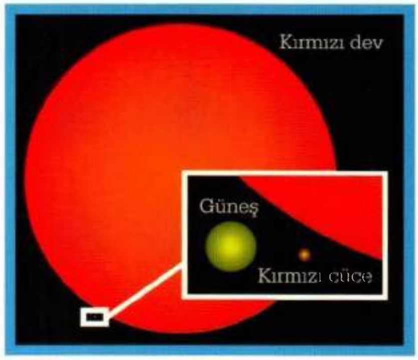
SONRA
1913 Henry Norris Russell, Hertzsprung'inkine benzer, tayf sınıfına karşı yıldızların mutlak kadrini (asli parlaklık) haritalandıran bir diyagram yaratır. Bu, daha sonra Hertzsprung-Russell diyagramı olarak anılmaya başladı.

19. yüzyılın sonu ve 20. yüzyılın başlarında Edward Pickering ve yardımcıları, kapsamlı çalışmalar yürütüp yıldız tayflarını sınıflandırdı. Bir yıldızdan gelen ve diğer birçok şeyin yanı sıra, koyu soğurma çizgileri de içeren ışık dalga boylarını katalogladılar. Soğurma çizgileri, yıldızın atmosferinde bu dalga boylarını soğuran belirli elementlerin varlığına işaret ederler.

Pickering'in yardımcılarından biri, Antonia Maury, yıldız tayflarında soğurma çizgilerinin genişlik farklarını hesaba katan kendi sınıflandırma sistemini geliştirdi. "C" olarak işaretlediği bazı tayfların keskin, dar çizgileri olduğunu fark etti. Maury'nin sistemini kullanan Danimarkalı astronom Ejnar Hertzsprung, "c-tipi" tayfı olan yıldızların, diğerlerinden çok daha ışıltılı olduğunu gördü.

Parlak ve soluk kırmızı, yıldızlar

Maury'nin "c-tipi" olarak tanımladığı yıldızların, aynı kategorideki diğer yıldızlardan kökten farklı olduklarını Hertzsprung ortaya çıkardı. Örneğin M-sınıfı kategorisinde ya da kırmızı-renkli yıldızlarda, "c-tiplerin" yüksek ışıltılı, yüksek-kütleli ve görece ender yıldız olduklarını fark etti – bugün bunlara, büyüklüklerine bağlı olarak kırmızı devler ya da kırmızı üstdevler deniliyor. "C-tipi" olmayan M-sınıfı yıldızların geriye kalan çoğunluğu, bugün kırmızı cüceler olarak bilinen düşük-kütleli, donuk yıldızlardır. Benzer bir iki ana tür ayrımı, K-sınıfı (turuncu) yıldızlar için de geçerlidir. ■



Tipik bir kırmızı devin, Güneş'in yaklaşık 50 katı, tipik bir kırmızı cücenin 150 katı büyük bir çapı vardır. Bununla birlikte, bir kırmızı devin kütlesi bir kırmızı cücenin kütlesinin yalnızca 8-10 katıdır.

Ayrıca bakınız: Güneş'in tayfı 112 ■ Yıldız ışığını analiz etmek 113 ■ Yıldız kataloğu 120-21 ■ Yıldızların karakteristikleri 122-27 ■ Yıldız sınıflandırmasını arıtmak 138-39



GÜNEŞ LEKELERİ MANYETİKTİR

GÜNEŞ LEKELERİNİN ÖZNİTELİKLERİ

KISACA

ASTRONOM
George Ellery Hale
(1868–1938)

ÖNCE
MÖ 800 Çinlilerin *Değişimler Kitabı*'nda, Güneş'te koyu lekelerin göründüğü kaydedilir.

1600 İngiliz fizikçi William Gilbert, Dünya'nın bir manyetik alanı olduğunu keşfeder.

1613 Galileo, Güneş lekelerinin Güneş'in yüzey özellikleri olduğunu tanıtlar.

1838 Samuel Heinrich Schwabe, her yıl görülen Güneş lekeleri sayısında bir döngü fark eder.

1904 Britanyalı astronomlar Edward ve Annie Maunder, 11 yıllık bir Güneş lekesi döngüsüne ilişkin kanıtları yayımlar.

SONRA
1960 ABD'li fizikçi Robert Leighton helyosismoloji alanını, Güneş yüzeyinin devinimini inceleme alanını tanıtır.

Amerikalı George Hale, zengin babası ona ilk teleskobunu aldığında 14, aile mülkünde ona bir gözlemevi inşa edildiğinde 20 yaşındaydı. İki yıl sonra, MIT'deyken Hale, yeni bir spektrohelyograf –Güneş'in yüzeyini bir seferde bir ışık dalga boyunda görmek için bir aygıt– tasarımı geliştirdi. Güneş lekelerinin tayf çizgilerini incelemek için bu aygıtı kullandı.

Birkaç yıl sonra Hale, 1908'de California'nın Wilson Dağı Gözlemevinde, babasının vasiyet ettiği bağışla yapılan 150 santimetrelik Hale Teleskobu da dahil, o sırada Dünya'nın en büyük teleskoplarını inşa etmeyi örgütledi. Aynı yıl Wilson Dağında çalışan Hale, hidrojenin yaydığı koyu kırmızı bir dalga boyunda Güneş lekelerinin net görüntülerini alabildi. Benekli görüntüler Hale'e, demir tozlarının bir mıknatısın etrafında kuvvet alanı saptama şeklini hatırlattı. Bu durum, Güneş lekelerinden gelen ışıkta Zeeman etkisinin işaretlerini aramasına yol açtı.

Zeeman etkisi, tayf çizgilerinde manyetik bir alanın varlığının neden olduğu bir yarılmadır; ilk kez Hollandalı fizikçi Pieter Zeeman tarafından 1896'da gözlemlendi. Güneş lekelerinden gelen ışıktaki tayf çizgileri gerçekten de yarılmıştı ve bu durum, Güneş lekelerinin Güneş yüzeyinde manyetik fırtınalar olduğunu Hale'e gösterdi. ■

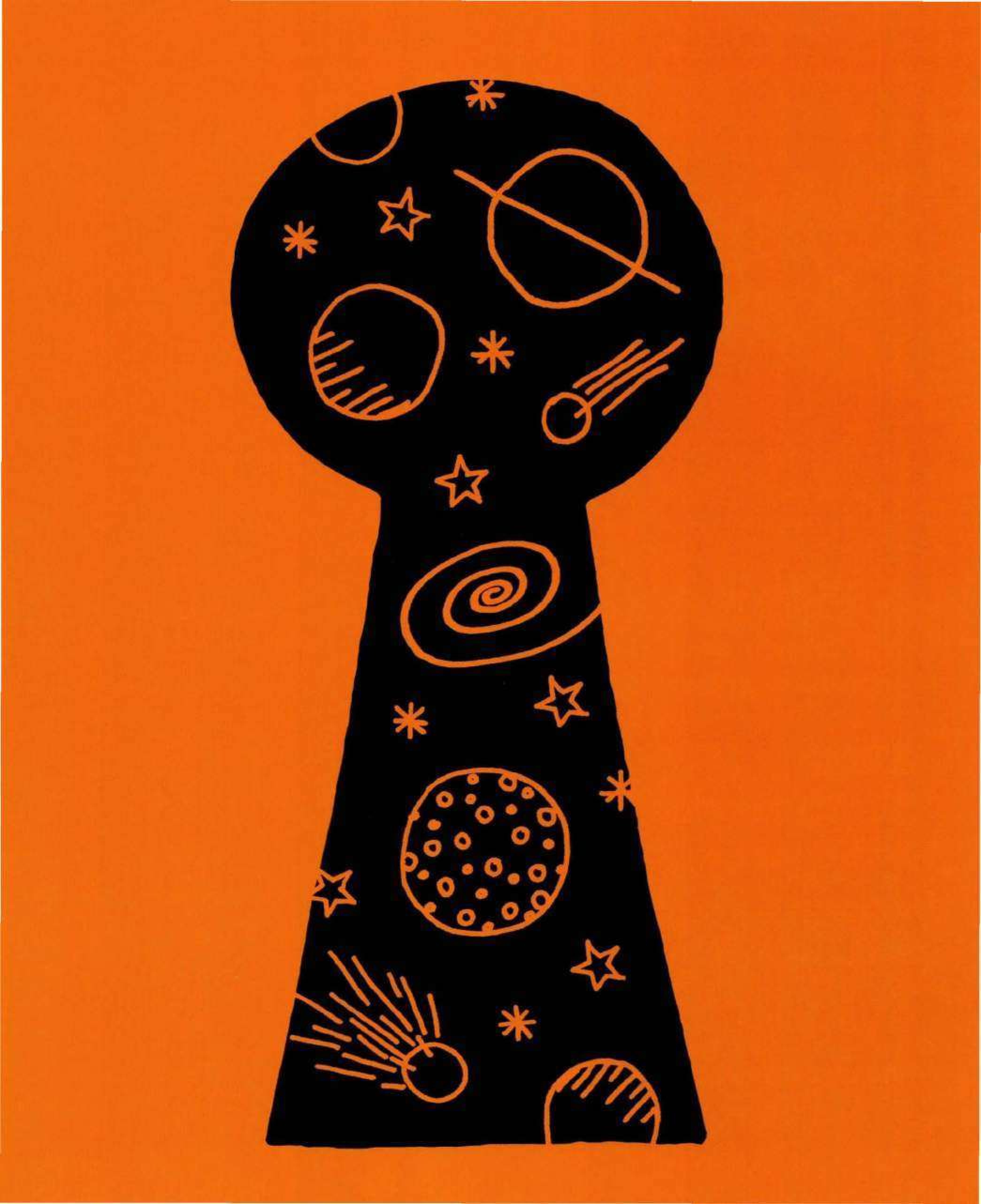


Güneş'in manyetik alanının gücündeki değişimler, Zeeman etkisi kullanılarak üretilen bu manyetogramda gösteriliyor.

Ayrıca bakınız: Galileo'nun teleskobu 56-63 ▪ Güneş'in yüzeyi 103 ▪ Güneş'in titreşimleri 213 ▪ Maunder (Rehber) 337

EVREN'İN UZAKLIK ÖLÇEĞİNİN BİR ANAHTARI

EVREN'İ ÖLÇMEK



KISACA

ASTRONOM
Henrietta Swan Leavitt
(1868–1921)

ÖNCE
1609 Alman papaz David Fabricius, periyodik olarak değişen Mira yıldızını keşfeder.

1638 Felemenk astronom Johannes Holwarda, Mira'nın 11 aylık düzenli bir döngüyle parlaklık değişimini gözlemler.

1784 John Goodricke, Delta Sefe'de –Sefeit değişkenin prototipik örneği– periyodik bir değişim keşfeter.

1838 Friedrich Bessel paralaks yöntemini kullanarak 61 Cygni yıldızına uzaklığı ölçer.

SONRA
1916 Arthur Eddington, Sefeitlerin neden titreştiğini araştırır.

1924 Edwin Hubble, Andromeda bulutsusunda bir Sefeite ilişkin gözlemleri kullanarak, uzaklığını hesaplar.

Astronomlar için en önemli ve çoğu kez en zor ölçümlerden biri, son derece uzak nesnelerin –Ay, Güneş ve İç Güneş Sisteminin diğer gezegenleri dışında pek çok gök nesnesini de kapsayan nesnelerin– uzaklığını ölçmek olmuştur. Uzak yıldızlardan ve galaksilerden gelen ışıkta hiçbir şey, o ışığın uzayda ne kadar yol alıp Dünya'ya ulaştığına dair hiçbir doğrudan işaret vermez.

Birkaç yüzyıl boyunca bilim insanları, paralaks denilen bir yöntemle görece yakın yıldızlara uzaklığı ölçmenin olanaklı olduğunu anladı. Bu yöntem, daha uzak yıldızlar arka planı ile yakın yıldızların konumunu iki perspektiften –genellikle Dünya'nın Güneş'in etrafındaki yörüngesinde altı ay arayla uzaydaki konumu– karşılaştırmaya dayanır. Daha önce birçok kişi denemiş (ve başarısız) olmasına rağmen, bu yöntemi kullanarak bir yıldızın uzaklığını doğru ölçen ilk astronom 1838'de Friedrich Bessel'di. Ne var ki, giderek güçlenen teleskoplarla bile, yıldız uzaklıklarını paralaksla ölçmenin zor olduğu anlaşıldı ve 1900 yılına gelindiğinde, yalnızca 60 kadar yıldızın uzaklığı ölçülmüştü. Dahası, paralaks yöntemi yalnızca yakın yıldızlar için kullanılabiliyordu. Bir yıllık bir sürede daha uzak yıldızlar için perspektif farkı, doğru belirlenemeyecek kadar küçüktü. Bu nedenle uzayda daha uzak mesafeleri ölçmek için yeni yöntemlere ihtiyaç vardı.

> Bu (Sefeit) değişkenler ile periyotlarının uzunluğu arasında dikkate değer bir ilişki fark edilecektir.
> **Henrietta Swan Leavitt**

Parlaklığı ölçmek

1890'larda ve 1900'lerin başında Massachusetts'teki Harvard College Gözlemevi, dünyanın önde gelen astronomik araştırma enstitülerinden biriydi. Gözlemevi, müdürü

Henrietta Swan Leavitt



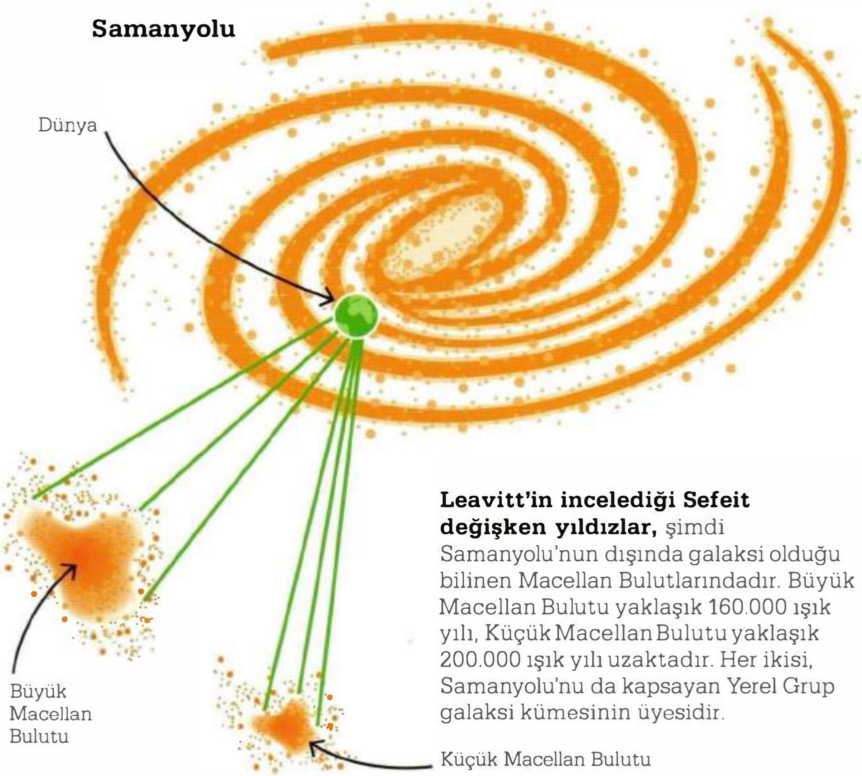
Henrietta Swan Leavitt, Massachusetts'te Redcliffe College'da okurken astronomiye ilgi duydu. Mezun olduktan sonra, ömrünün geri kalan kısmında giderek daha fazla sağırlaşmasına neden olan ciddi bir hastalık geçirdi. 1894'ten 1896'ya kadar, daha sonra 1902'den itibaren Harvard College Gözlemevinde çalıştı. Leavitt 2.400'den fazla değişken yıldız ve dört nova keşfetti. Leavitt, Sefeit değişkenler üzerine çalışmalarına ek olarak, şimdi Harvard Standardı denilen bir fotoğraflı ölçüm standardı geliştirdi.

Zamanın önyargılarından ötürü Leavitt, zekâsını sonuna kadar kullanma şansı bulamadı ama bir meslektaşı tarafından "Gözlemevinde en iyi zihne sahip" olarak nitelendi. Çalışkan ve ağırbaşlı olarak hatırlandı; "boş işlerle fazla uğraşmadı." Leavitt 1921'de kanserden ölene kadar Gözlemevinde çalıştı.

Önemli eserleri

1908 *1777 Variables in the Magellanic Clouds*

Ayrıca bakınız: Yeni bir yıldız türü 48-49 ▪ Yıldız paralaksı 102 ▪ Yıldız kataloğu 120-21 ▪ Soğurma çizgilerini analiz etmek 128 ▪ Yıldızlarda nükleer füzyon 166-67 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172-77 ▪ Uzay teleskopları 188-95



Leavitt'in incelediği Sefeit değişken yıldızlar, şimdi Samanyolu'nun dışında galaksi olduğu bilinen Macellan Bulutlarındadır. Büyük Macellan Bulutu yaklaşık 160.000 ışık yılı, Küçük Macellan Bulutu yaklaşık 200.000 ışık yılı uzaktadır. Her ikisi, Samanyolu'nu da kapsayan Yerel Grup galaksi kümesinin üyesidir.

Edward C. Pickering'in gözetimi altında, çok sayıda erkek çalıştırıp bir donanım inşa etti ve gece gökyüzünün fotoğraflarını çekti; Dünya'nın her tarafında teleskoplardan alınan fotoğraf plakalarını incelemek, parlaklıklarını ölçmek ve plakalara ilişkin değerlendirmeleri temelinde hesaplamalar yapmak için birçok kadın çalıştırdı. Bu kadınların Gözlemevinde teorik çalışma yapma şansları fazla değildi ama Williamina Fleming, Henrietta Swan Leavitt, Antonia Maury ve Annie Jump Cannon gibi birkaçı, kalıcı bir miras bıraktı.

1894'te ücretsiz bir gönüllü olarak Gözlemevine katılan Henrietta Swan Leavitt, sonunda fotometri bölümünün başkanı oldu. Bu görev esas olarak yıldızların parlaklığını ölçmeyi gerektiriyordu ama Leavitt'in işinin özel bir yanı da, parlaklığı dalgalı yıldızları –değişken yıldızlar olarak bilinen– saptamaktı. Bunun için, gökyüzünün aynı bölümünün farklı tarihlerde alınmış fotoğraf plakalarını karşılaştıracaktı. Arada bir, farklı tarihlerde daha parlak olan, dolayısıyla değişken olduğu anlaşılan bir yıldız bulacaktı.

Küme değişkenler

Küçük Macellan Bulutu (KMB) ve Büyük Macellan Bulutu (BMB) içindeki yıldızların fotoğraf plakalarını incelemek, Leavitt'in özel göreviydi. O sırada KMB ve BMB'nin, bütün Evren'i kapsadığı varsayılan Samanyolu içinde çok büyük yıldız kümeleri olduğu sanılıyordu. Bugün, Samanyolu'nun dışında, görece küçük, ayrı galaksi oldukları biliniyor. Macellan Bulutları güney yarımkürede gece gökyüzünde çıplak gözle görülebilir ama Leavitt'in yaşadığı ve çalıştığı Massachusetts'te hiçbir zaman görülmez. Bu nedenle, Peru'da bir gözlemevinde astronomların elde ettiği sayısız KMB ve BMB fotoğraf plakasını incelemesine rağmen, fiziksel olarak gökyüzünde gözlemlemiş olması hiç olası değildir.

Birkaç yıllık çalışmadan sonra Leavitt KMB ve BMB'de 1777 değişken yıldız bulmuştu. Bulduğu bütün değişkenlerin küçük bir bölümünü (1777'nin 47'si) temsil eden ve Leavitt'in dikkatini özellikle çeken tür, Sefeit değişken denilen tipte yıldızlardı. Leavitt bunlara "küme değişkenleri" dedi –Sefeit değişken terimine daha sonra geçildi. Bunlar, bir günden 120 güne kadar değişebilen bir periyotla (döngü uzunluğu) parlaklıkları düzenli olarak değişen yıldızlardır. Sefeit değişkenleri fark etmek nispeten kolaydır; çünkü en parlak değiş-

> Miss Leavitt'in en çarpıcı başarılarından biri, Macellan Bulutlarında 1777 değişken yıldızın keşfidir.
>
> **Solon I. Bailey**
> ***Leavitt'in meslektaşı***

Sefeit bir değişkenin parlaklığında dalgalanma **periyodu, asli parlaklığıyla** yakından ilişkilidir.

Periyodunu ölçmek, asli parlaklığına ilişkin bir değer verir.

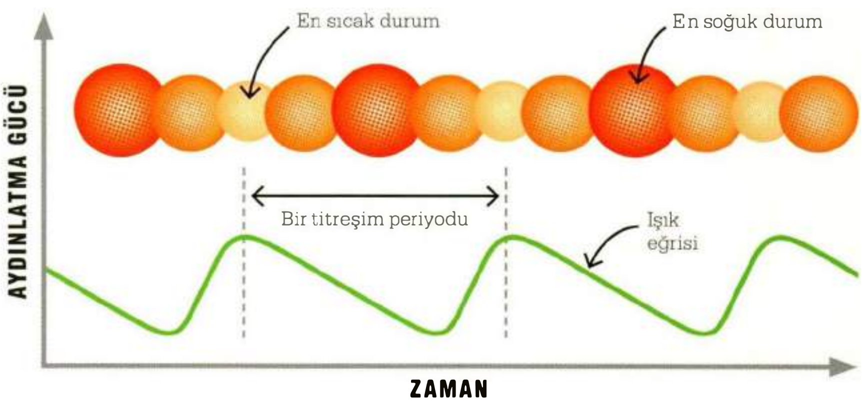
Asli parlaklığını Dünya'dan **görünür parlaklığıyla** karşılaştırmak, Dünya'dan uzaklığına ilişkin bir değer verir.

Sefeit değişkenler, Evren'deki uzaklıkları ölçmek için **"standart mum"** olarak kullanılabilir.

ken yıldızlardandır ve hızlı bir parlaklık artışından sonra yavaş bir azalma sergileyen karakteristik bir ışık eğrisi vardır. Bugün, "titreşen" –döngüsel olarak çapları ve parlaklıkları değişen– dev sarı yıldız oldukları biliniyor ve oldukça enderdirler. Bir yıldız sınıfı olarak, olağanüstü derecede yüksek bir parlaklık ortalamaları da vardır; yani, diğer galaksilerde bile göze çarparlar. Leavitt, ya BMB ya da KMB'deki Sefeit değişkenlere ilişkin kayıtlarını incelerken, anlamlı gibi görünen bir şey fark etti. Daha uzun periyotlu Sefeitlerin ortalama parlaklığı, daha kısa periyotlu Sefeitleden fazlaydı. Başka bir deyişle, Sefetlerin yanıp sönme sıklığı ile parlaklıkları arasında bir ilişki vardı. Leavitt doğru bir biçimde şu sonucu da çıkardı: Karşılaştırdığı Sefeitlerin hepsi aynı uzak bulutsuda (ya BMB ya da KMB) oldukları için, hepsi Dünya'ya neredeyse aynı uzaklıktaydı. Yani, Dünya'dan görüldüğü şekliyle parlaklıklarında (görünür kadirlerinde) herhangi bir farklılık, gerçek ya da asli parlaklıklarındaki (mutlak kadirlerindeki) farklılıklarla doğrudan ilişkiliydi. Demek ki, Sefeit değişkenlerin periyotları ile ortalama asli parlaklıkları ya da optik aydınlatma güçleri (ışık enerjisi yayma oranları) arasında kesin bir ilişki vardı.

Leavitt ilk bulgularını, 1908'de *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*'da çıkan bir makalede yayınladı. 1912'de, KMB'deki Sefeit değişkenlerin periyotlarını minimum ve maksimum parlaklık değerlerini gösteren grafikler çizmeyi de kapsayan çalışmalardan sonra, keşfini daha ayrıntılı bir biçimde doğruladı. "Periyot-aydınlatma gücü" ilişkisi olarak anıldı. Tam olarak şunu ifade ediyordu:

> Maksimuma ve minimuma karşılık gelen iki nokta dizisinden her birinin arasında düz bir çizgi kolayca çekilip, değişkenlerin parlaklığı ile periyotları arasında basit bir ilişkinin var olduğu gösterilebilir.
>
> **Henrietta Swan Leavitt**



Bir Sefeit değişken, titreşen değişken denilen bir yıldız sınıfına aittir. Bu yıldızlar düzenli bir döngü halinde genişler ve büzülür, aynı zamanda parlaklıkları da düzenli olarak değişir. En büzülmüş evrelerine ulaştıktan hemen sonra en sıcak ve en parlak durumda olurlar. Yıldızın zamana karşı aydınlatma gücüne (ışık çıktısı), yıldızın ışık eğrisi denilir.

Yıldızların kadirleri ve parlaklığı



Görünür kadir, bir yıldızın Dünya'dan görünen parlaklığıdır.

Mutlak görsel kadir, bir yıldızın belirlenmiş bir uzaklıktan görülen parlaklığıdır ve bir yıldızın gerçek ya da asli parlaklığını gösterir.

Optik aydınlatma gücü, bir yıldızın kendi yüzeyinden ışık enerjisi yayma oranıdır ve mutlak görsel kadirle yakından ilişkilidir.

Bir Sefeit değişkenin periyodunun logaritması, yıldızın ölçülmüş ortalama parlaklığıyla doğrusal olarak (yani doğrudan) ilişkilidir.

Leavitt'in çalışmalarını geliştirmek

Leavitt bütün içerimleri hemen kavramamış olabilir; ama Evren'deki uzaklıkları, paralaks ölçümlerin sınırlarının çok ötesinde ölçmek için son derece değerli bir alet keşfetmişti. Sefeit değişkenler, ilk "standart mum" –bilinen bir aydınlatma gücü olan, bu yüzden uzayda çok büyük uzaklıkları ölçmenin aleti olarak kullanılabilen gök nesneleri sınıfı– olacaktı.

Leavitt'in keşfinin anlamını ilk takdir edenlerden biri de, Danimarkalı astronom Ejnar Hertzsprung'du. Leavitt'in keşfettiği periyot-aydınlatma gücü ilişkisi nedeniyle Hertzsprung, Sefeit bir değişkenin periyodunu ölçerek, aydınlatma gücünü ve asli parlaklığını belirlemenin olanaklı olacağını anladı. Sonra asli parlaklığı görünür kadiriyle (Dünya'dan ölçülmüş ortalama parlaklık) karşılaştırarak, Sefeit değişkene uzaklığı hesaplamak olanaklı olacaktı. Bu şekilde, bir ya da daha fazla Sefeit değişken yıldız barındıran bir nesneye uzaklığı belirlemek de olanaklı olacaktı.

Ne var ki, çözülmesi gereken bir sorun vardı: Leavitt önemli periyot-aydınlatma gücü ilişkisini saptamış olmasına rağmen, bunun başlangıçta vaat etiği şey, uzak nesnelerin uzaklığını KMB'ye uzaklığa göre ölçme sistemiydi. Bunun nedeni, Leavitt'in KMB'ye uzaklık hakkında doğru bilgiye, aslında herhangi bir Sefeit değişkenin asli parlaklığıyla ilgili doğru verilere sahip olmamasıdır.

Değişkenleri ayarlamak

Leavitt'in bulgularını, yalnızca göreli uzaklıkları değil, mutlak uzaklıkları da belirlemek için kullanılabilen bir sisteme dönüştürmek için, bir şekilde ayarlama yapmak gerekiyordu. Bunu yapmak için de, birkaç Sefeit değişkenin uzaklığını ve asli parlaklığını doğru ölçmek gerekiyordu. Bu yüzden Hertzsprung, Güneş'e benzer bir uzaklıkta olduğu varsayılan bir yıldız kümesinin ortalama hareketini hesaplamayı gerektiren ve istatistiksel paralaks denilen karmaşık bir yöntem kullanarak, Samanyolu galaksisindeki bir avuç Sefeit değişkene uzaklığı belirlemeye koyuldu.

Yıldızların uzaklığını elde ettikten sonra, yakındaki Sefeit değişkenlerden her birinin asli parlaklığını ortaya çıkarmak için izlenebilecek en kısa yoldu. Hertzsprung bu değerleri kullanıp, KMB'ye uzaklığı ve Leavitt'in KMB'deki Sefeitlerinden her birinin asli parlaklığını hesaplamasına olanak sağlayan bir ölçek ayarladı.

Bu ayarlamalardan sonra Hertzsprung, yalnızca iki veriden –periyodu ve görünür kadiri– hareketle herhangi bir Sefeit değişkene uzaklığı belirlemek için bir sistem kurabildi.

Daha ileri uygulamalar

Hertzsprung'un çalışmalarıyla düzeltilen Leavitt'in bulgularının, Evren'in ölçeğini anlamaya yardımcı olması bakımından daha önemli sonuçlara yol açması çok sürmedi. 1914'ten 1918'e kadar Amerikalı

> Bu tür durumlarda olağan fiyatımız saati yirmi beş sent olmasına rağmen, işinizin kalitesini göz önüne alarak saatine otuz sent ödemek isterim.
>
> **Edward C. Pickering**

> Leavitt, geride büyük bir astronomik keşif mirası bıraktı.
> **Solon I. Bailey**

astronom Harlow Shapley (aynı zamanda Sefeit değişkenlerin titreşen yıldız –pulsar– olduklarını gösteren ilk kişiydi), yeni geliştirilen kavrayışı, değişken yıldızların periyotları ve görünür parlaklıkları bilinirse uzaklıklarının bulunabileceği kavrayışını kullanan ilk kişilerden biriydi. Sharpley, küresel yıldız kümeleri denilen nesnelerin –Samanyolu'nun tamamı– kabaca, merkezleri Yay takımyıldızı yönünde olan bir küre şeklinde dağıldığını buldu. Buradan yola çıkarak, Samanyolu galaksisinin merkezinin Yay takımyıldızı yönünde epeyce (on binlerce ışık yılı) uzakta olduğu ve Güneş'in, daha önce sanıldığı gibi, galaksinin merkezinde olmadığı sonucuna vardı. Shapley'in, Samanyolu'nun gerçek büyüklüğüne ilişkin ilk gerçekçi tahmine yol açan çalışmaları, galaksi astronomisinde önemli bir kilometre taşıydı.

1920'lere kadar birçok bilim insanı (Harlow Shapley de dahil), Samanyolu galaksisinin Evren'in tamamı olduğunu savunuyordu. Aksini düşünenler de olmasına rağmen, her iki taraf da argümanını şu ya da bu şekilde kanıtlayamadı. Ne var ki, 1923'te Amerikalı astronom Edwin Hubble, en ileri teleskop teknolojisini kullanarak Andromeda bulutsusunda, uzaklığının ölçülmesine izin veren Sefeit bir değişkin buldu. Bu durum, Andromeda bulutsusunun Samanyolu dışında ayrı bir büyük galaksi (şimdi Andromeda galaksisi deniliyor) olduğunun doğrudan doğrulanmasına yol açtı. Daha sonra, aynı şeklide, Samanyolu'nun Evren'deki çok büyük sayıda galaksiden yalnızca biri olduğunu göstermek için de Sefeitler kullanıldı. Hubble, galaksilerin uzaklığı ile durgunluk hızı arasındaki ilişkiyi keşfederken de Sefeit araştırmalarından yararlandı; bu keşif, Evren'in genişlemekte olduğunun doğrulanmasına yol açtı.



RS Puppis yıldızı, Samanyolu'ndaki en parlak Sefeit değişkenlerden biridir. Dünya'dan yaklaşır 6500 ışık yılı uzaktadır ve 41,4 gün süren bir değişkenlik döngüsü vardır.

Ölçeği gözden geçirmek

1940'larda Alman astronom Walter Baade, California'da Wilson Dağı Gözlemevinde çalışıyordu. Baade, savaş sırasında gece karartmasının sağladığı daha iyi görüş koşullarında Andromeda galaksisinin merkezindeki yıldızlara ilişkin gözlemler yaptı. Farklı periyot-aydınlatma

gücü ilişkisine sahip iki ayrı Sefeit topluluğu ya da grubu fark etti. Bu durum, dış galaksi mesafe ölçeğinde dramatik bir düzeltmeye yol açtı –örneğin, Andromeda galaksisinin Samanyolu'ndan uzaklığının Hubble'ın hesapladığının iki katı olduğu görüldü. Baade bulgularını 1952'de Uluslararası Astronomi Birliğinde açıkladı. İki Sefeit grubu, klasik ve Tip II Sefeitler olarak anıldı; uzaklık ölçmede farklı amaçlarla kullanılmaya başlandı.

Bugün klasik Sefeitler, galaksilerin 100 milyon ışık yılına kadar uzaklıklarını –yerel galaksi grubunun çok ötesini– ölçmek için kullanılmaktadır. Klasik Sefeitler, Samanyolu galaksisinin yerel sarmal doğası ve Güneş'in galaksi düzleminden uzaklığı gibi birçok karakteristiğini netleştirmek için de kullanıldı. Tip II Sefeitler, galaksi merkezine ve küresel kümelere uzaklıkları ölçmek için kullanıldı.

Daha doğru periyot-aydınlatma gücü ilişkisi kalibrasyonu için Sefeit değişkenlere uzaklığın ölçümü, hâlâ son derece önemli sayılmaktadır ve 1990'da başlatılan Hubble Uzay Teleskobu projesinin öncelikli görevlerinden biri de buydu. Daha iyi bir kalibrasyon, diğer şeylerin yanı sıra, Evren'in yaşını hesaplamak için önemlidir. Leavitt'in yarım yüzyıl önceki bulgularının, kozmosun ölçeğini doğru anlamak bakımından hâlâ önemli serpintileri vardır. ■

> Hubble'ın Leavitt'e teşekkürü esirgemesi, Leavitt'in çığır açan keşfine rağmen, hem meslektaşlarınca hem de kamuoyunca başarısının göz ardı edilmesinin bir örneğidir.
>
> **Pangratios Papacosta**
>
> ***Bilim tarihçisi***

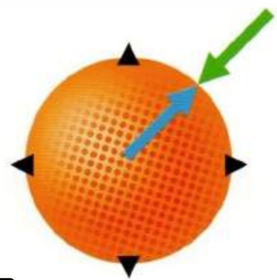
Burada Sefeit değişkenlerin büyüklük dalgalanmasına neden olan mekanizmaların basitleştirilmiş bir versiyonu gösteriliyor. Bir yıldızın içindeki basınç kuvvetleri, yıldızın çekirdeğinden çıkan ısıyla beslenen gaz basıncını ve ışınım basıncını içerir. Muhtemel bir mekanizma da, yıldızın dış katmanları içinde gazın opaklığında (ışınımın iletimine dirençte) döngüsel bir değişimdir.

Kütleçekim **Basınç kuvvetleri**



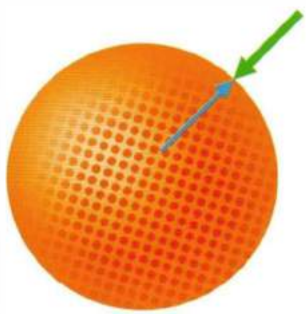
A

Basınç kuvvetleri kütleçekimi aşar. Yıldız genişlemeye başlar.



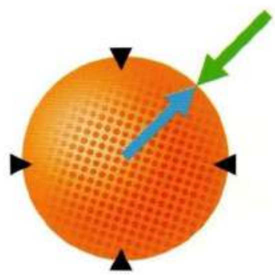
B

Basınç ve kütleçekim şimdi dengededir ama eylemsizlik, yıldızın daha da genişlemesine neden olur.



C

Devam eden genişlemeyle birlikte basınç kuvvetleri ve daha az ölçüde olmak üzere kütleçekim azalır. Sonunda kütleçekim basınç kuvvetlerinden gelen basıncı aşar ve yıldız genişlemeyi bırakıp büzülmeye başlar.



D

Basınç ile kütleçekim yine dengededir ama eylemsizlik, yıldızın daha fazla büzülmesine neden olur.



E

Yıldız büzüldükçe, basınç kuvvetleri, içe doğru çeken kütleçekimini aşana kadar artar. Yıldız büzülmeyi bırakıp tekrar genişlemeye başlar, yeni bir titreşim döngüsünü başlatır.



YILDIZLAR DEV YA DA CÜCEDİR

YILDIZ SINIFLANDIRMASINI ARITMAK

KISACA

ASTRONOM
Henry Norris Russell
(1877–1957)

ÖNCE
1901 Harvard College Gözlemevinde çalışan Annie Jump Cannon, O, B, A, F, G, K ve M yıldız tayfı sınıflarını tanıtır (yıldızların yüzey sıcaklığı temelinde).

1905 Yıldız tayfı analizlerini temel alan Ejnar Hertzsprung, bazı tayf sınıflarında temelden farklı iki tür yıldız bulunduğunu, birinin çok daha fazla ışıltılı olduğunu açıklar.

SONRA
1914 Walter Adams beyaz cüce yıldızları –beyaz-sıcak ama görece soluk– keşfeder.

1933 Danimarkalı astronom Bengt Strömgren, tayf sınıflarına karşı yıldızların mutlak kadirlerine ilişkin bir çizimi adlandırmak için "Hertzsprung-Russell diyagramı" terimini tanıtır.

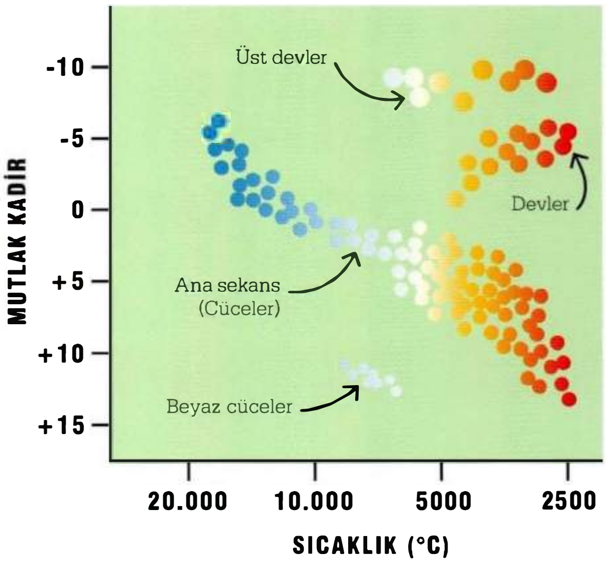


1912 civarında Amerikalı Henry Russell yıldızların mutlak kadirlerini (ya da gerçek parlaklıkları) renkleriyle ya da tayf sınıflarıyla karşılaştırmaya başladı. Erken 20. yüzyılın başlarından önce, farklı yıldız tiplerinin genel bir şemada nasıl ilişkilenebileceğini hiç kimse ortaya çıkarmamıştı ama renk gibi özellikler bakımından farklı oldukları uzun süredir kabul edilmekteydi. Bazı yıldızlar saf beyaz ışıkla parlarken, bazılarının farklı renkleri vardır: Bazılarının kırmızımsı ya da mavimsi tonları vardır, Güneş ise sarıdır. 1900'de Alman fizikçi Max Planck, sıcak nesnelerin verdiği ışığın dalga boylarının karışımının ve dolayısıyla renklerinin ısılarına göre nasıl değiştiğini açıklayan hassas matematiği ortaya çıkardı. Yıldız renkleri yüzey sıcaklığıyla ilişkilidir –kırmızı yıldızlar en soğuk yüzeylere, mavi yıldızlar en sıcak yüzeylere sahiptir. 1910 civarına gelindiğinde, yıldızların renkleriyle ve yüzey sıcaklıklarıyla ilişkili tayf sınıflarına sığdıkları düşünülüyordu.

Yıldızlar parlaklıkları bakımından da açıkça farklıdır. Eskiden beri yıldızlar parlaklık sınıflarına ayrılmıştır. Bu sınıflandırma gelişip, yıldızları Dünya'dan ne kadar parlak göründüklerine göre sıralayan görünür

Ayrıca bakınız: Güneş ışığını analiz etmek 113 ▪ Yıldızların karakteristikleri 122-27 ▪ Soğurma çizgilerini analiz etmek 128 ▪ Evren'i ölçmek 130-37 ▪ Beyaz cüceleri keşfetmek 141 ▪ Yıldız bileşimi 162-63

kadir ölçeğine dönüştü. Ne var ki, bir yıldızın mutlak parlaklığını bilmek için, Dünya'dan uzaklığı bakımından ölçeğin düzeltilmesi gerektiği anlaşıldı: Bir yıldız ne kadar uzaksa, o kadar sönük görünecektir. 19. yüzyılın ortasından itibaren, bazı yıldızların makul ölçüde kesin uzaklıkları hesaplanmaya başlandı ve bu yıldızların mutlak parlaklığı saptanabildi.



Hertzsprung-Russell diyagramı, yıldızların mutlak kadre ve tayf sınıfına göre dağılımını gösteriyor. Diyagram, yıldızların nasıl evrim geçirdiğine ilişkin teoriler geliştirmenin temelini oluşturdu. (Mutlak kadir ölçeğinde, rakam ne kadar düşükse, kadir o kadar yüksektir.)

Russell'ın keşfi

Yıldızların çoğunluğu arasında Russell kesin bir ilişki buldu –sıcak mavi-beyaz yıldızlar (B ve A tayf sınıfı), daha soğuk beyaz ve sarı yıldızlardan (F ve G sınıfı) daha yüksek mutlak kadre sahip olma eğilimindeyken, beyaz ve sarı yıldızların da turuncu ve kırmızı yıldızlardan (K ve M sınıfı) daha yüksek mutlak kadirleri vardır. Ne var ki, olağanüstü parlak bazı kırmızı, turuncu ve sarı yıldızlar bu kuraldan sapıyordu. Bunlar "dev" yıldızlardı.

Russell yıldızların tayf sınıflarına karşı mutlak kadirlerini bir saçılım diyagramı üzerine çizdi ve 1913'te yayımladı. Ne var ki, ondan habersiz olan Danimarkalı kimyacı ve astronom Ejnar Hertzsprung, iki yıl önce benzer bir çalışma yapmıştı ve diyagram, şimdi, Hertzsprung -Russell diyagramı olarak bilinir. Diyagram, parlak dev yıldızlar grubu ile çok daha büyük sıradan yıldızlar grubuna ayrılmış yıldızları gösterir. Russell bu sıradan yıldızlara "cüce" dedi; Hertzsprung ise "ana sekans" dedi. Yeni keşfedilen sıcak ama sönük beyaz cüceler, diyagrama daha sonra eklendi ve üçüncü bir grubu oluşturuyorlar. Bugün, pek çok yıldızın ömürlerinin çoğunu ana sekansta geçirdikleri, bazılarının daha sonra devlere ya da üstdevlere dönüştüğü biliniyor. ■

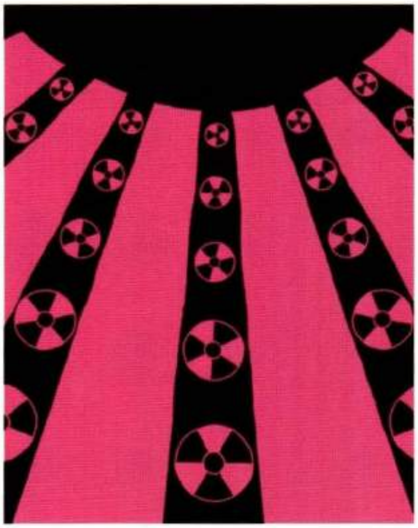
Henry Norris Russell



Henry Norris Russell 1877'de Long Island'da, Oyster Bay'da doğdu. 5 yaşındayken ebeveynleri onu, Venüs'ün Güneş diskinden geçişini gözlemlemeye teşvik etti ve astronomiye ilgisi böyle başladı. Mars'ın Eros asteroidinin yörüngesini tedirgin etme şekline ilişkin bir analizden ötürü Princeton Üniversitesi astronomi bölümü tarafından doktora derecesiyle ödüllendirildi. 1903'ten 1905'e kadar İngiltere'de Cambridge Gözlemevinde, yıldız fotoğrafçılığı, çift yıldızlar ve yıldız paralaksı üzerine çalıştı. 1905'te Princeton Üniversitesinde astronomi okutmanlığına atandı ve 1911'de orada profesör oldu. 1912'den 1947'ye kadar Princeton Üniversitesi Gözlemevinin müdürlüğünü de yaptı.

Önemli eserleri

1927 *Astronomy: A Revision of Young's Manual of Astronomy; Volume 1: The Solar System; Volume 2: Astrophysics and Stellar Astronomy*
1929 *On the Composition of the Sun's Atmosphere*



NÜFUZ EDİCİ IŞINIM UZAYDAN GELİYOR

KOZMİK IŞINLAR

KISACA

ASTRONOM
Victor Hess (1883–1964)

ÖNCE
1896 Fransız fizikçi Henri Becquerel, radyoaktiviteyi saptar.

1909 Alman bilim insanı Theodor Wulf, Eiffel Kulesinin tepesine yakın hava iyonlaşmasını ölçer. Düzeyler, beklenenden yüksektir.

SONRA
1920'ler Amerikalı fizikçi Robert Millikan, "kozmik ışın" terimini uydurur.

1932 Amerikalı fizikçi Carl Anderson kozmik ışınlarda pozitronu (elektronun karşıparçacığı) keşfeder.

1934 Walter Baade ve Fritz Zwicky, kozmik ışınların süpernova patlamalarından geldiği düşüncesini öne sürer.

2013 Fermi Uzay Teleskobundan alınan veriler, bazı kozmik ışınların süpernova patlamalarından geldiğini gösterir.

Avusturya doğumlu fizikçi Victor Hess 1911 ve 1912 yıllarında doğu Almanya'da bir hidrojen balonuyla bir dizi tehlikeli yüksek uçuş gerçekleştirdi. Amacı, 5 kilometrelik bir yükseklikte hava iyonlaşmasını ölçmekti.

İyonlaşma, elektronların atomlardan kopma sürecidir. 20. yüzyılın ilk yıllarında bilim insanları, Dünya atmosferindeki iyonlaşma düzeylerine şaşırıyorlardı. 1896'da radyoaktivitenin keşfinden sonra, yerdeki cisimlerin yaydığı ışınımın iyonlaşmaya neden olduğu, yani yükseklikle birlikte hava iyonlaşmasının azalması gerektiği öne sürüldü. Ne var ki, 1909'da Paris'te Eiffel Kulesinin tepesinde yapılan ölçümler, beklenenden daha yüksek bir iyonlaşma düzeyi gösterdi.

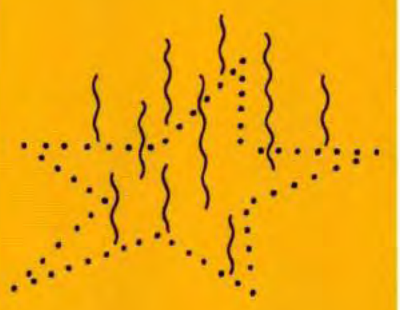
Hess'in sonuçları, iyonlaşmanın yaklaşık 1 kilometrelik bir yüksekliğe kadar azaldığını, o noktadan sonra arttığını gösteriyordu. Uzaydan gelen güçlü ışınımın atmosfere nüfuz edip iyonlaştırdığı sonucuna vardı. Bu ışınım daha sonra kozmik ışınlar olarak anıldı.

1950'de bilim insanları, kozmik ışınların, bazıları çok yüksek enerjiye sahip yüklü parçacıklardan oluştuğunu bulguladı. Atmosfere şiddetle çarpıp, yeni atom-altı parçacıklar yaratıyorlar; bunlar da, kozmik ışın yağmuru denilen bir çarpışmalar şelalesine neden oluyor. ■



1951'de Yengeç bulutsusunun büyük bir kozmik ışın kaynağı olduğu görüldü. Ondan sonra süpernovaların ve kuasarların da kaynak olduğu saptandı.

Ayrıca bakınız: Süpernovalar 180-81



ÇOK SÖNÜK OLAN BİR BEYAZ SICAK YILDIZ

BEYAZ CÜCELERİ KEŞFETMEK

KISACA

ASTRONOM
Walter Adams (1876–1956)

ÖNCE
1783 William Herschel 40 Eridani (Irmak) B ve C'yi keşfeder.

1910 Williamina Fleming, Henry Norris Russell'ın 40 Eridani B'nin tayfıyla ilgili bir sorusunu yanıtlar ve bir Tip A yıldızı olduğunu doğrular.

SONRA
1926 Britanyalı astronom Ralph Fowler, beyaz cücelerdeki aşırı yoğun malzemenin doğasını açıklamak için kuantum fiziğinde yeni düşüncelere başvurur.

1931 Subrahmanyan Chandrasekhar, beyaz cücelerin Güneş'in kütlesinin 1,4 katından fazla kütleli olamayacağını hesaplar.

1934 Walter Baade ve Fritz Zwicky, beyaz cüce olamayacak kadar kütleli olan yıldızların nötron yıldızlarını oluşturduklarını öne sürer.

20. yüzyılın ilk on yılında Amerikalı astronom Walter Adams, tayflarındaki tikel dalga boylarının göreli yoğunluğundan yıldızların mutlak kadrini hesaplamanın bir yöntemini geliştirdi. California'da Wilson Dağı Gözlemevindeki ilk ekip üyelerinden biri olan Adams, çok donuk ama aynı zamanda çok sıcak gibi görünen gizemli bir yıldız barındıran üçlü yıldız sistemi 40 Eridani'yi araştırmak için bu yöntemi kullandı.

Beyaz cüce

Üç yıldızın en parlağı olan 40 Eridani (Irmak) A'nın yörüngesinde, çok daha sönük bir çift yıldız, 40 Eridani B ve C dönüyordu. 40 Eridani B ve C kadar sönük yıldızların M tayf sınıfında olmaları, yani yıldız ışıklarının kırmızı olması, göreli bir soğukluğu göstermesi bekleniyordu. 40 Eridani C bu profile uyuyordu ama 40 Eridani B en beyaz ve en sıcak yıldız tiplerinden biriydi. Adams 1914'te verileri yayımlayınca, astronomlar bir bilmeceyle karşı karşıya kaldı: Bu sıcaklıkta bir yıldız, enerjisini bir yerden almak zorundaydı. Yanıt ancak şu olabilirdi: Küçük olmasına (yaklaşık olarak Dünya büyüklüğünde) rağmen, yoğunluğu çok fazla olmalı –Güneş'inkinin yaklaşık 25.000 katı. 40 Eridani B, keşfedilen ilk beyaz cüce yıldızdı. Daha sonra beyaz cücelerin, ana sekans yıldızlarının nükleer füzyon yakıtı bitince geride kalan sıcak yıldız çekirdeği oldukları gösterildi. ■

> Karşınıza çıkan her şeyden 3000 kat daha yoğun bu malzemenin bir tonu, kibrit kutusuna koyabileceğiniz küçük bir külçe olurdu.
>
> **Arthur Eddington**
> ***Beyaz cüceleri tarif ederken***

Ayrıca bakınız: : Uranüs'ü gözlemlemek 84-85 ▪ Yıldız sınıflandırmasını arıtmak 138-39 ▪ Yıldızların yaşam döngüleri 178 ▪ Enerji üretimi 182-83

ATOMLAR,
VE GALAKS
1915–1950

YILDIZLAR

İLER

1916

Albert Einstein, kütleçekimini bir uzayzaman eğriliği olarak açıklayan **genel görelilik teorisini** yayımlar.

1917

Vesto Slipher, birçok bulutsunun **kızıla kayma** gösterdiğini, yani bizden hızla uzaklaştıklarını gösterir.

1919

Bir Güneş tutulmasını gözlemleyen **Arthur Eddington**, yıldızlardan gelen ışığın, tıpkı göreliliğin öngördüğü gibi, Güneş'in kütleçekimiyle **büküldüğünü** gösterir.

1920

Smithsonian müzesinde **sarmal bulutsuların** galaksi olup olmadığı konusunda **"Büyük Tartışma"** gerçekleşir.

1924

Edwin Hubble, bulutsuların uzaklığı ile kızıla kayması arasında bir ilişki görüp, **sarmal bulutsuların galaksi olduğunu** gösterir.

1926

Avusturyalı fizikçi **Erwin Schrödinger,** kuantum düzeyinde tuhaf davranışı açıklayan **kuantum mekaniğini** açıklayan denklemi ortaya koyar.

Ölçek bakımından büyük farklılık göstermelerine rağmen, atomlar, yıldızlar ve galaksiler bir özniteliği paylaşırlar: Her biri kendi büyüklük alanında Evren'in temel bir yapı birimidir. Galaksiler Evren'de en büyük ölçekte madde dağılımını tanımlar; yıldızlar, o galaksilerin tanımlayıcı bileşenidir (galaksiler bol miktarda gaz, toz ve gizemli kara madde de barındırabilmelerine rağmen); atomlar, yıldızların sıcak gazını meydana getiren madde birimleridir (soğuk yıldızlarda basit moleküllerle birlikte). Galaksileri kent olarak düşünürsek, yıldızlar kent içindeki tek tek binalara benzer ve atomlar da tuğlalardır.

20. yüzyılın ilk yarısında 30 yıllık bir dönemde astronomi, Evren'deki madde hiyerarşisinin nasıl düzenlendiğini anlama konusunda büyük sıçramalar kaydetti. Bu gelişmelerin temelinde Einstein'ın genel görelilik teorisi vardı; bu teoride kütle ve enerji kavramları, birleşik bir uzay ve zaman dokusu içinde birbirinden ayrılamaz.

Bir yıldızın içine bakmak

1916 ile 1925 arasında Briton Arthur Eddington, Güneş gibi sıradan yıldızların fiziksel doğası üzerinde çalıştı. Enerjinin merkezi bir kaynaktan yüzeye çıktığı ve oradan da uzaya ışıdığı sıcak bir gaz küresinin ayrıntılı bir fiziksel tasvirini toparladı. Eddington, yıldızların atom-altı süreçlerden –şimdi bizim nükleer enerji dediğimiz şey– yakıt aldığına astronomları inandırmak için de çok şey yaptı.

1919'da Yeni Zelandalı fizikçi Ernest Rutherford, radyoaktif bir elementten parçacık ateşleyerek nitrojen atomlarını oksijene dönüştürebildi. Nükleer süreçlerin yeni elementler üretebildiğine ve akıl almaz miktarda enerji salabildiğine ilişkin artık bol miktarda kanıt vardı. Hâlâ kuşkulananlar için Eddington, Cambridge Üniversitesinde gerçekleştirilen deneyleri düşünüp, "Cavendish Laboratuvarında olanaklı olan, Güneş'te çok zor olmayabilir" dedi.

ABD'de çalışan Britanyalı astronom Cecilia Payne-Gaposchkin 1925'te yıldızların ezici ölçüde hidrojen atomlarından oluştuğu sonucuna varınca, astronomlar "sıradan" yıldızların gerçek doğası konusunda gerçek bir kavrayışa sonunda ulaştı.

Ne var ki, bütün yıldızlar pek de sıradan değildir. Örneğin beyaz cü-

1930

Arizona'da Lowell Gözlemevinde **Clyde Tombaugh**, başlangıçta dokuzuncu gezegen olarak sınıflandırılan **Plüton'u** keşfeder.

1930

Subrahmanyan Chandrasekhar, bir yıldızın çöküp bir **nötron yıldızına** ya da **kara deliğe** dönüşme koşullarını hesaplar.

1931

Georges Lemaître Evren'in küçük bir **"atom"**dan başladığını öne süren bir makale yayımlar.

1933

Kendisinin yaptığı bir anteni kullanan Amerikalı radyo mühendisi **Karl Jansky**, uzaydan gelen **radyo dalgalarını** keşfeder.

1946

Amerikalı astrofizikçi **Lyman Spitzer Jr**, **uzaya teleskop** yerleştirmeyi önerir.

1946

Fred Hoyle, yıldızlarda **elementlerin** nasıl meydana geldiğini gösterir.

celer olağanüstü derecede yoğundur. 1930'larda, bir yıldızın nasıl bu kadar yoğun olabildiğini açıklamak için yeni kuantum fiziğinin aletleri kullanıldı. 1,46 Güneş kütlelerinin, bir beyaz cüce oluşturmanın üst sınırı olduğu anlaşıldı; ama daha kütleli yıldızların çöküp çok daha yoğun bir nötron yıldızına, hatta bir kara deliğe dönüşmesini durduracak bir şey yoktu.

Kara delikler gerçek olabilir

Walter Baade ve Fritz Zwicky, bir süpernova patlamasının merkez kalıntısının bir nötron yıldızı olacağını tahmin etti ve Hindistanlı Subrahmanyan Chandrasekhar'ın ve diğerlerinin çalışmalarıyla birlikte, teorik kara delikler kavramı doğdu ama birçok astronom, gerçekten var olduklarına inanmayı zor buldu. 40 yıl kadar sonra ilk nötron yıldızları ve kara delik adayları tanımlandı.

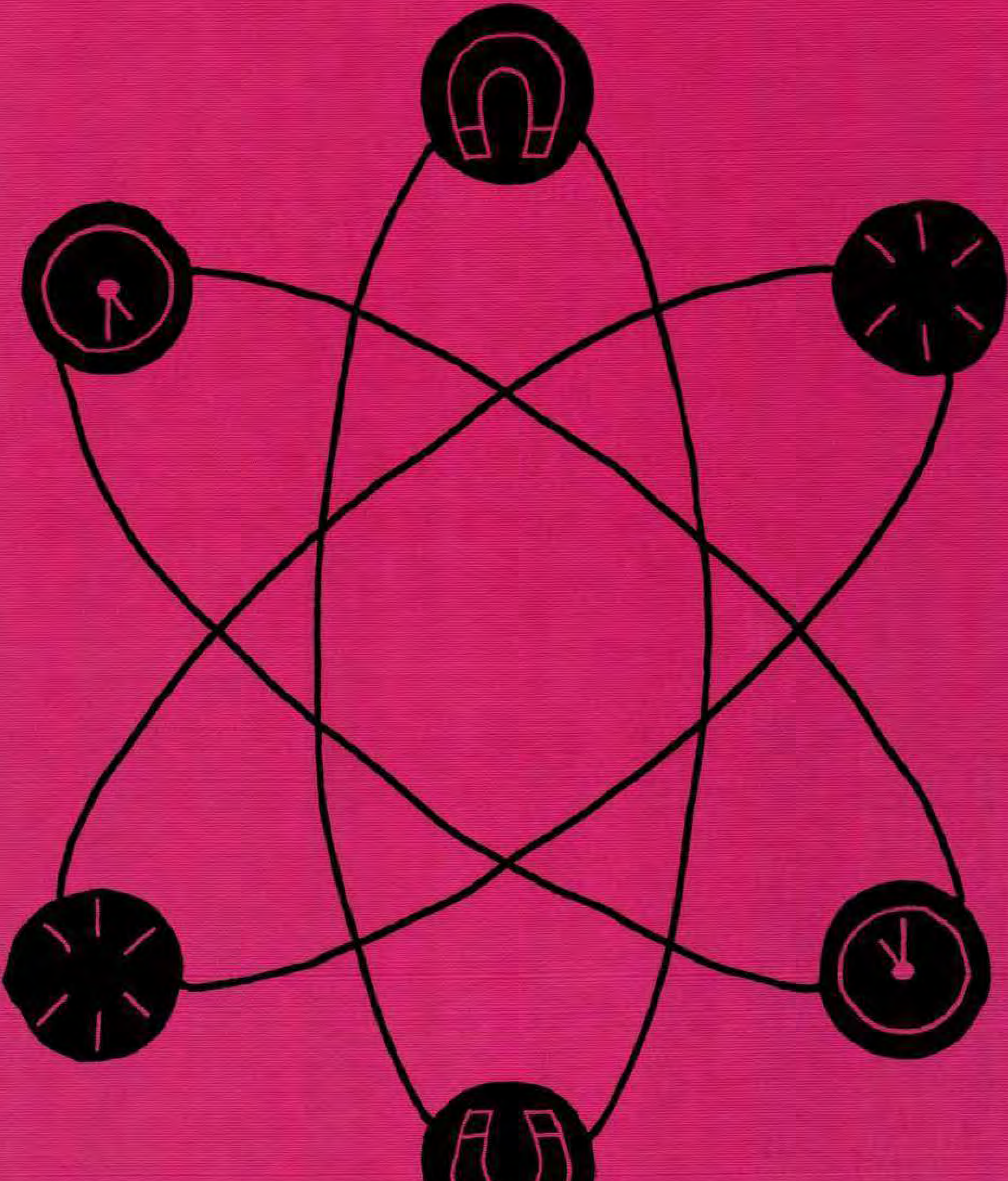
Galaksiler Evren'i

Bu arada, Evren'in doğası kavrayışı hızla değişiyordu. 1917'de Amerikalı Vesto Slipher, birçok sözde "bulutsu"nun bizim Samanyolu'na benzer ve hızlı devinim halinde galaksi olduğunu kabul etti. 10 yıl kadar sonra, Belçikalı rahip Georges Lemaître, genişleyen bir Evren'in Einstein'ın görelilik teorisiyle uyumlu olduğunu anladı. Amerikalı Edwin Hubble, bir galaksi ne kadar uzaksa bizden o kadar hızlı uzaklaştığını keşfetti ve Lemaître, Evren'in, havaifişeğe benzer küçük bir "ilkel atom"un patlamasıyla başladığını öne sürdü. Beş-on yıl içinde astronomlar, Evren'in hayal ettiklerinden çok daha büyük ve daha karmaşık olduğunu anlamıştı. ■

> Biri bilirsek, ikiyi de bileceğimizi düşünürdük, zira bir ve bir ikidir. "Ve" hakkında daha fazla şey öğrenmemiz gerektiğini görüyoruz.
>
> **Arthur Eddington**

UZAY VE ZAMAN İLE KÜTLEÇEKİMİN MADDEDEN AYRI BİR VAROLUŞU YOKTUR

GÖRELİLİK TEORİSİ



KISACA

ASTRONOM
Albert Einstein (1879–1955)

ÖNCE
1676 Ole Rømer, ışık hızının sınırsız olmadığını gösterir.

1687 Isaac Newton devinim yasalarını ve Evrensel kütleçekim yasasını yayımlar.

1865 James Clerk Maxwell, ışığın sabit bir hızla elektromanyetik bir alandan geçen bir dalga olduğunu gösterir.

SONRA
1916 Karl Schwarzschild, maddenin uzayı ne kadar eğdiğini göstermek için Einstein'ın denklemlerini kullanır.

1919 Arthur Eddington, uzayzaman eğriliğinin kanıtlarını sunar.

1927 Georges Lemaître göreceli bir Evren'in dinamik olabildiğini gösterir ve Büyük Patlama teorisini önerir.

Işık hızı, gözlemciler hareket ettiğinde bile **her zaman sabittir.**

↓

Demek ki, uzayda **hareket zamanın** akışını **yavaşlatır.**

↓

Zamanın yavaşlaması, bir nesnenin **kütlesini arttırır.**

↓

İvme kazanan bir kişi bunun **kütleçekimden** mi yoksa **başka bir kuvvetten** mi kaynaklandığını söyleyemez. Cismi hareket ediyor sanılabilir ya da etrafındaki Evren değişiyor sanılabilir.

↓

Kütle yalnızca uzayda değil, **uzayzamanda** vardır. Kütlenin kendisi uzayzamanı çarpıtır.

↓

Kütleçekim, en iyi, **kütlenin eğdiği uzayzamanın sonucu** olarak açıklanır.

↓

Uzay ve zaman ile kütleçekimin maddeden ayrı bir varoluşu yoktur.

Albert Einstein'ın genel görelilik teorisine, doğa hakkında bir kişinin kafasında gerçekleşen en büyük düşünce edimi denilmiştir. Kütleçekim, devinimi, maddeyi, enerjiyi, uzay ve zamanı, kara deliklerin oluşumunu, Büyük Patlamayı ve muhtemel kara enerjiyi açıklıyor. Einstein, teoriyi 20. yüzyılın başında on yıldan fazla bir sürede geliştirdi. Georges Lemaître'ye, Stephen Hawking'e ve teorinin öngördüğü kütleçekim dalgalarını araştıran LIGO ekibine ilham verdi.

Görelilik teorisi, Isaac Newton'un açıkladığı devinim yasaları ile İskoç fizikçi James Clerk Maxwell'in tanımladığı elektromanyetizma yasaları arasındaki çelişkiden doğdu. Newton doğayı, nesneler arasında etkili olan kuvvetlerin yönettiği devinim halinde madde gereğince açıkladı. Maxwell'in teorileri elektrik ve manyetik alanların davranışıyla ilgiliydi. Işık, diyordu Maxwell, bu alanların üzerinden bir salınımdı. Maxwell, kaynağın ne kadar hızlı hareket ettiğinden bağımsız olarak, ışık hızının her zaman sabit olduğunu öngördü.

Işığın hızını ölçmek kolay bir iş değildir. Danimarkalı astronom Ole Rømer 1676'da Jüpiter uydularından gelen ışıktaki zaman gecikmesini ölçerek bunu yapmayı denedi. Verdiği yanıt yüzde 25 yavaştı ama ışık hızının sınırlı olduğunu gösterdi. 1850'lere gelindiğinde daha doğru ölçümler yapılmıştı. Ne var ki, Newtoncu bir Evren'de, ışığın kaynağı ile gözlemcinin göreli devinimini açıklamak için ışığın hızında değişiklik olması gerekiyordu. Araştırmacılar ne kadar denediyse de, bu tür farklar ölçülemedi.

Ayrıca bakınız: Kütleçekim teorisi 66-73 ▪ Uzayzamanda eğriler 154-55 ▪ Evren'in doğuşu 168-71 ▪ Kara enerji 298-303 ▪ Kütleçekim dalgaları 328-31

19. yüzyılın sonunda birçok kişi, fizikçilerin Evren'in yasalarını tam olarak ortaya çıkardığına inanıyordu. Artık yalnızca daha hassas ölçümlere ihtiyaç vardı. Ne var ki, Einstein daha çocukken bile, fiziğin bittiğine inanmadı. 16 yaşındayken kendine bir soru sordu: "Bir ışık demetinin üzerinde otursaydım ne görürdüm?" Newtoncu bağlamda genç Albert, ışık hızında yol alıyor olurdu. Önden gelen ışık, gözlerine ışığın iki katı hızla ulaşırdı. Geriye baktığında, hiçbir şey görmezdi. Arkadan gelen ışık, ışık hızında yol alıyor olsa bile, asla yetişemezdi.

Annus mirabilis

Einstein'nın ilk işi, İsviçre'de Bern'de patent memuru olarak çalışmaktı. Orada özel araştırmalarına ayıracak bol zaman buldu. Bu bireysel çalışmanın ürünü, Annus Mirabilis (mucize yılı) 1905'te sunduğu dört metindi. Bu metinlerde birbiriyle ilişkili keşif vardı: özel görelilik ve $E=mc^2$ denklemiyle (s. 150) özetlenen kütle ve enerji eşdeğerliği.

Özel görelilik

Einstein düşüncelerini geliştirmek için düşünce deneylerinden yararlandı; bu deneylerin en göze çarpanı, biri hızlı trende diğeri peronda duran iki kişiyi içeriyordu. Bir versiyonda, trenin içindeki Bob, tam üstünde tavanda bulunan bir aynaya bir fener tutar. Işığın aynaya gidip gelme zamanını ölçer. Aynı zamanda tren, ışık hızına yakın bir hızla perondan geçiyor. Duran gözlemci Pat, ışık demetinin aynaya gidip dönüşünü perondan görüyor ama ışık demetinin yol aldığı zaman içinde, tren hareket etmiştir –yani ışık demeti düz yukarı ya da aşağı doğru yol almak yerine, diyagonal yol alır. Perondaki Pat için, ışık demeti daha fazla yol almıştır; bu yüzden, ışık her zaman aynı hızda yol aldığı için, daha çok zaman geçmiş olmalıdır.

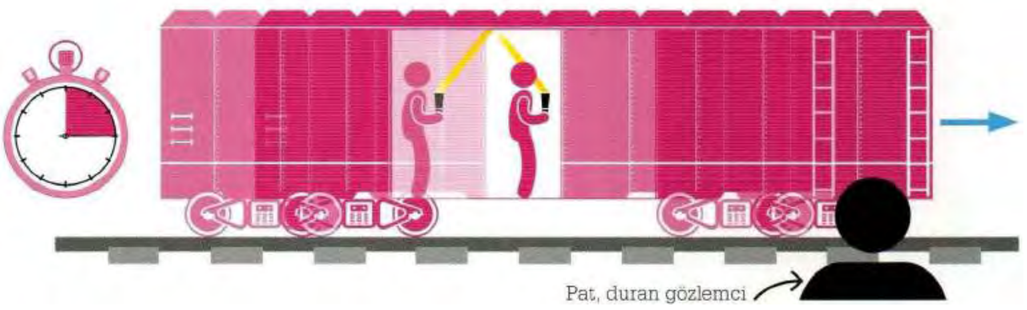
> Altı yaşında birine açıklayamazsanız, kendiniz anlayamamışsınızdır.
> **Albert Einstein**

Einstein'ın buna getirdiği açıklama, özel göreliliğin temeli haline gelen muazzam bir imgelem sıçraması oldu. Hız, zaman birimi başına mesafe birimi ölçüsüdür. Bu nedenle, ışık hızının sabitliği, zamanın akışı içinde bir değişkenlikten kaynaklanmalıdır. Uzayda daha hızlı yol aldıkları gözlemlenen nesneler, zamanda

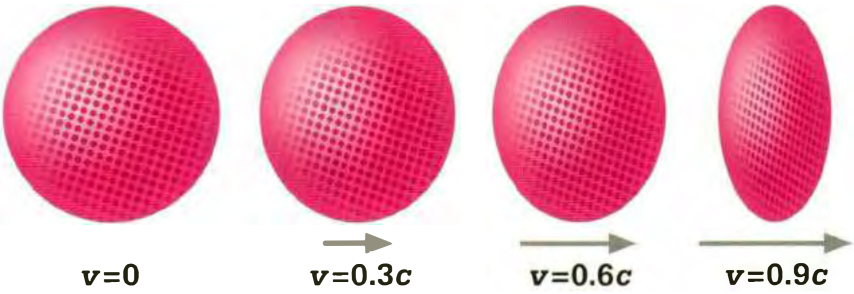
Hızlı trenin içinde Bob bir ışık demetini doğrudan yukarı ve aşağı tutar. Bob, ışığın kendisine geri yansıması için geçen zamanı dik yukarı ve aşağı mesafeyi c'ye (ışığın hızı) bölerek ölçer.



Peronda Pat ışık demetinin diyagonal yol aldığını gözlemler. Hâlâ aynı c hızıyla yol alıyor; bu yüzden, ışık daha uzun yol gittiği için, daha fazla zaman geçmiş olmalıdır.



Bir nesnenin hızı *(v)* ışık hızına yaklaştıkça, o nesne durağan bir gözlemci tarafından görüldüğünde hareket yönünde giderek daha fazla ezilir. Bu salt bir yanılsama değildir. Gözlemcinin referans çerçevesinde nesnenin şekli gerçekten değişir.



daha yavaş hareket ediyorlar. İstasyondaki saat ile trendeki saat, gözlemlendikleri referans çerçevesine bağlı olarak, farklı hızlarda tik taklar. Hareket halindeki trende Bob saatinin normal ilerlediğini görür; ama perondaki gözlemci Pat'a göre, trenin saati çok yavaş hareket ediyor.

Hızlı trendeki yolcular zamanın yavaşlamasını fark etmezler. Zamanı ölçme mekanizmaları –bir sarkacın sallanması, kuvars kristalinin titreşimi ya da bir atomun davranışı gibi– Evrensel yasalara uyan fiziksel fenomenlerdir. Özel göreliliğe göre yasalar, referans çerçevesi –hareket halinde tren ya da birlikte hareket eden bir nesneler kümesi– içinde değişmeden kalır.

Enerji kütledir

Einstein'nın yavaş yavaş bir araya getirip, 1915'te tek bir genel görelilik teorisine dönüştürdüğü bu zaman genişlemesinirı (dilasyon), kapsamlı sonuçları vardır. İlk atılım, *E*'nin (enerji), ışık hızının (*c*) karesinin kütleyle (*m*) çarpımına eşit olduğunu ifade eden $E=mc^2$'nin keşfiydi. c^2 çok büyük bir sayıdır –yaklaşık 90 milyon milyar– bu yüzden küçük bir kütle, büyük miktarda enerji içerir. Kütlenin serbest enerjiye dönüştüğü bir nükleer patlamada, bu açıkça görülür.

Tren düşünce deneyine dönersek, şimdi iki gözlemci birbirlerine tenis topu atıyorlar. Toplar çarpışır ve her birine geri seker (hem Bob hem de Pat çok iyi nişan alır). Her iki gözlemci aynı referans çerçevesi içinde olsaydı, topların tarif edilen devinimi gerçekleşirdi; çünkü topların kütlesi aynıydı ve aynı kuvvetle atılmıştı. Ama bu deneyde toplar farklı referans çerçevesi içindedir – biri durağandır, diğeri ışık hızına yakın hareket ediyor. Pat, zaman genişlemesinden ötürü Bob'un topunun kendisininkinden daha yavaş hareket ettiğini görecekti; yine de toplar çarpıştığında, her ikisi de sahiplerine göre döner. Ancak Bob'un tenis topu, Pat'ınkinden daha ağırsa ya da daha fazla kütle içeriyorsa, bu olabilir.

Bu nedenle, özel göreliliğe göre, madde hareket ettiği zaman daha kütleli olur. Bu kütle artışları, gündelik, insan ölçeğinde ölçülebilir ama kayda değmezdir. Ne var ki, nesneler çok hızlı hareket ettiklerinde belirgin bir etkileri vardır. Örneğin, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) parçacık hızlandırıcılarının hızlandırdığı protonlar, ışık hızına çok yakın hareket eder –yüzde 99,999'u.

Albert Einstein



Einstein Almanya'da doğdu ama gelişim yıllarını İsviçre'de geçirdi. Ortalama bir öğrenciydi; sonra öğretmenlik işi bulmaya çalıştı, ama sonunda kendini Bern'de patent dairesinde buldu. 1905'teki metinlerinin başarısından sonra Einstein, Bern'de, Zurich'te ve Berlin'de üniversitelerde görev üstlendi; 1915'te genel görelilik teorisini Berlin'de sundu. 1933'te Nazizmin yükselişiyle birlikte Einstein Amerika Birleşik Devletleri'ne göç etti ve Princeton Üniversitesine yerleşti. Geri kalan günlerini orada geçirip, göreliliği kuantum mekaniğiyle ilişkilendirmeye çalıştı. Yapamadı; şimdiye kadar kimse de başaramadı. Yıllarca önde gelen bir pasifist ses olan Einstein, 1939'da, Almanya'nın nükleer bir silah yapma tehlikesine karşı Müttefiklerin uyarılmasında etkili oldu. İlk atom bombalarını yapan Manhattan Projesine bulaşmak istemedi. İyi bir kemancı olan Einstein, çoğu kez müzikle düşündüğünü söylemiştir.

Önemli eserleri

1915 ***Relativity: the Special and the General Theory***

> Her ışık ışını, bu ışının hareketsiz bir cisim ya da devinim halinde bir cisim tarafından yayılmış olup olmamasından bağımsız olarak, belirli, sabit bir hızla "hareketsiz" koordinat sisteminde hareket eder.
> **Albert Einstein**

Ek enerji bu hıza fazla bir şey yapmaz ama kütleyi artırır. Tam güç halinde, LHC'deki protonlar, durağan olduklarından yaklaşık 7.500 kat daha fazla kütlelidirler.

Hız sınırı

Hız ile kütle arasındaki ilişkiyle birlikte görelilik, bir temel ilkeyi daha aydınlatır: Işık hızı, uzayda devinimin üst sınırıdır. Kütleli bir nesnenin –nükleer bir parçacık, uzay gemisi, gezegen ya da yıldız– ışık hızında yol alması olanaksızdır. Işık hızına yaklaştıkça kütlesi neredeyse sonsuzlaşır, zaman neredeyse duracak kadar yavaşlar ve onu ışık hızına itmek sonsuz miktarda bir enerji alır.

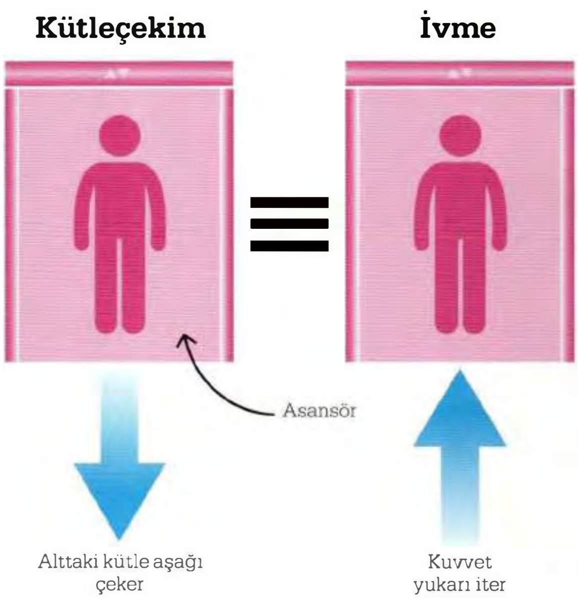
Einstein teorisini genelleştirmek için, enerji ve devinimle ilgili düşüncelerini kütleçekimle ilişkilendirdi. Uzayda bir nesne alınır ve bütün referans noktaları kaldırılırsa, o nesnenin hareket ettiğini söylemek olanaklı değildir. Öyle olduğunu kanıtlamak için yapılabilecek hiçbir test yoktur. Bu nedenle, herhangi bir nesnenin bakış açısından ya da referans çerçevesinden, Evren'in geri kalan kısmı onun etrafında dönerken, o hareketsiz durur.

Einstein'ın en mutlu düşüncesi

Her şey sabit bir hızla hareket ediyorsa, bunu resmetmek çok kolaydır. Newton'un birinci devinim yasasına göre, bir kuvvet bir nesneye etki edip ivme kazandırmadıkça (hızını ya da yönünü değiştirmedikçe), o nesne devinimini sürdürür. Einstein ivmenin etkilerini teorisine dahil edince, "en mutlu düşünce" dediği bir içgörüye yol açtı: Bir nesnenin ivme kazanmasının nedenini ayırt etmek olanaksızdı –kütleçekimden ötürü de olabilir, başka bir kuvvet de olabilir. Her ikisinin etkisi aynıydı ve Evren'in geri kalan kısmının referans çerçevesinin etrafında dolaşma şekliyle tarif edilebilirdi.

Einstein devinimi, kütle, enerji ve zaman arasındaki bağlar bakımından tarif etmişti. Genel bir teori için uzayı da eklemesi gerekiyordu. Bir nesnenin uzaydaki yolunu, zamandaki yolunu irdelemeden anlamak olanaklı değildi. Sonuç şuydu: Kütle, gündelik uzay kavramanın alışılmış üç boyutuna karşıt olarak dört-boyutlu bir geometrisi olan uzayzamanda hareket eder. Bir nesne uzayzamanda hareket ettiğinde zaman boyutu genişler, uzay boyutları daralır. İstasyonda Pat'ın bakış açısından hızlı trenin uzunluğu kısalır, çok ezik ve güdük gibi görünür. Ama Bob için her şey normaldir; trende ölçtüğü her şey, tren durduğu zamanla aynı uzunlukla olacaktır. Bunun nedeni, cetvel gibi ölçü aletlerinin, uzayla birlikte küçülmüş olmasıdır.

> Görelilik teorisi, muhteşem bir sanat eserinden başka bir şey olarak görülemez.
> **Ernest Rutherford**
> ***Yeni Zellandalı fizikçi***



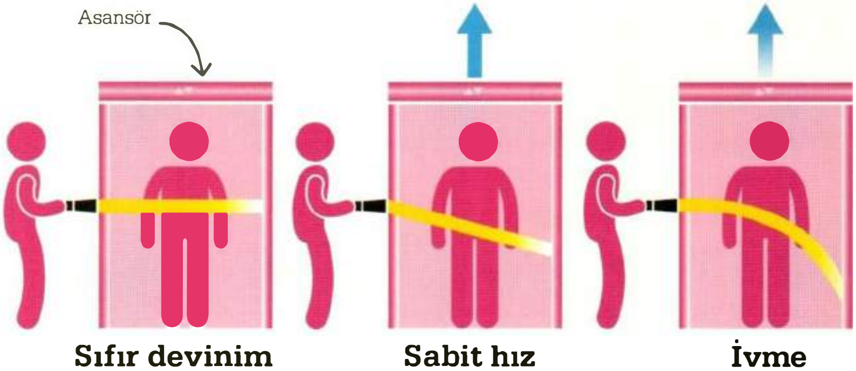
Asansörün içindeki bir kişi, asansörü aşağıdan iten bir kuvvet tarafından yukarıya doğru hızlandırılıp hızlandırılmadıklarını ya da asansörün altındaki bir kütlenin kütleçekimle aşağıya doğru çekilip çekilmediklerini söyleyemez. Her şekilde, zemin onları iterken de ve bir yükseklikten düşen nesneler hızlanarak yere düşerken de bir ağırlık duygusu hissederler. Bu, Einstein'ın "en mutlu düşünce"si olarak tarif ettiği eşdeğerlik ilkesidir.

Eğrilen uzayzaman

Einstein'ın evreninde kütle, bir kuvvet olarak değil, uzayzaman geometrisinde kütlenin varlığının neden olduğu eğriliklerin sonucu olarak ele alınır. Gezegen gibi büyük bir kütle uzayı büker; bu nedenle, yakındaki uzayda düz bir çizgide hareket eden meteor gibi küçük bir nesne, gezegene doğru bükülecektir. Meteor seyrini değiştirmemiştir –hâlâ uzayda aynı çizgide hareket ediyor; sadece, gezegen o çizgiyi büküp bir eğriye dönüştürmüştür.

Uzayzamandaki eğrilikler, lastik bir levhanın şeklini bozup çukurluklar ya da "kütleçekim kuyuları" oluşturan toplarla görselleştirilebilir. Büyük bir "gezegen" top bir kuyu meydana getirir ve daha küçük bir "meteor" kuyuya yuvarlanır. Yörüngesine, hızına ve kütlesine bağlı olarak meteor gezegenle çarpışabilir ya da kuyunun diğer tarafına düşüp kurtulabilir. Yörünge dosdoğruysa, meteor gezegenin etrafında bir yörüngede döner.

Maddenin yarattığı eğrilikler zamanı da büker. İki uzak nesne –sözgelimi, bir kırmızı yıldız ile bir mavi yıldız– birbirlerine göre hareket etmiyorlar. Uzayın farklı noktalarındadırlar ama zaman bakımından aynı noktada, aynı "şimdinin" içindedirler. Ne var ki, kırmızı yıldız direkt mavi yıldızdan uzaklaşırsa, zaman içinde geçişi mavi yıldızınkine göre yavaştır. Yani kırmızı yıldız bir "şimdi"yi geçmişte mavi yıldızla paylaşır. Kırmızı yıldız doğrudan mavi yıldıza doğru yol alırsa, "şimdi"si mavi yıldızın geleceğine doğru açı yapar. Sonuç olarak, bir referans çerçevesinden eşzamanlı gözlemlenen olaylar, farklı zamanlarda gerçekleşiyor gibi görünebilir.



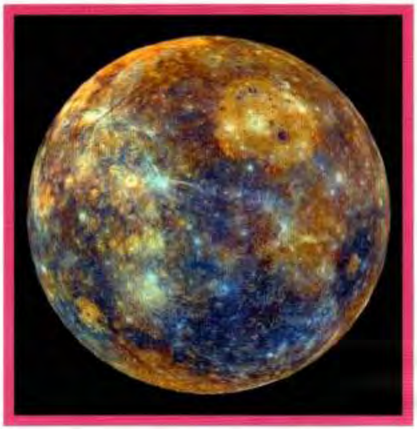
Asansörün dışında duran fenerli bir gözlemci asansörün içine bir ışık demeti tutar. Işık demetinin yolları, asansörün içinden gözlemlendiği şekliyle gösteriliyor. Asansör ivme kazanırsa, ışık demeti aşağı doğru eğrilecek. Işık, benzer biçimde bir kütleçekim kaynağına doğru eğrilir.

Göreliliğin kanıtı

Einstein'ın fiziği başlangıçta, bilim topluluğunun büyük bölümü tarafından şaşkınlıkla karşılandı. Ne var ki, 1919'da İngiliz astronom Arthur Eddington, Evren'i açıklamanın bu yeni yolunun gerçekten doğru olduğunu tanıtladı. Bir tam Güneş tutulmasını gözlemlemek ve özellikle Güneş'e yakın yıldızların ardalanına bakmak için Atlantik adası Principe'ye gitti. Yıldızlardan çıkan ışık, jeodezi olarak bilinen en dolaysız yoldan Dünya'ya gelir. Öklit geometrisinde (Newton fiziğinin geometrisi) bu yol düz bir çizgidir ama uzayzaman geometrisinde bir jeodezik eğri olabilir. Bu yüzden, Güneş'in kenarına çok yakın parlayan yıldız ışığı, yıldızın kütlesinin yarattığı eğriliğin içine girer ve bükülen bir yol izler. Eddington, Güneş parıltısı olmayınca açığa çıkan yıldızları fotoğrafladı. Bu görüntüler, yıldızların görünür konumunun uzayın eğrilmesi nedeniyle gerçekten kaydığını gösterdi –şimdi kütleçekimsel kırılma olarak bilinen bir etki. Einstein'ın haklı olduğu kanıtlandı.

Einstein'ın genel görelilik teorisi, astronomların, görünür Evren'in en ucundan bir kara deliğin olay ufkuna kadar her yerde gözlemlediklerini

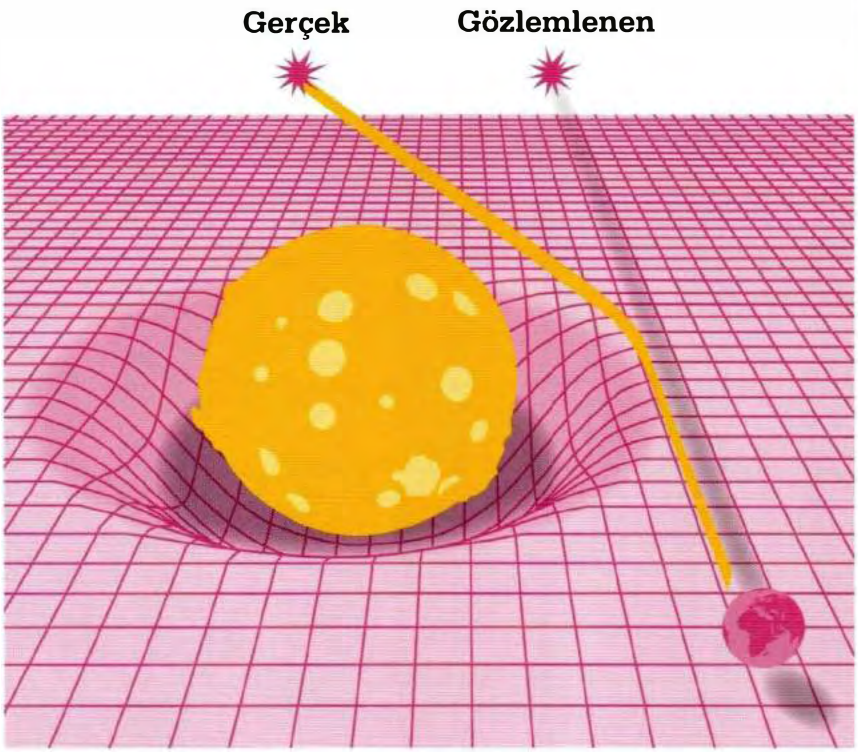
> Her şey olabildiğince basitleştirilmeli. Ama daha basit değil.
> **Albert Einstein**



Görelilik, Merkür gezegeninin yörüngesinde, ilk kez 1859'da fark edilen ve Newton fiziğinin açıklayamadığı tedirginlikler bilmecesini çözdü.

anlamlandırmalarına olanak verir. Bugün göreliliğin zaman genişlemesi, GPS teknolojisinde hesaba katılır ve göreliliğin öngördüğü uzayın dalga-benzeri kasılmaları, yakın zamanda LIGO deneyinde keşfedildi. Kara enerji gizemine olası yanıt arayışında da görelilik düşünceleri kullanılıyor. ■

> Zaman bir yanılsamadır.
> **Albert Einstein**



Kütle, ilk kez Arthur Eddinton'ın 1919'da gözlemlediği, kütleçekimsel kırılma denilen bir etkiye neden olan bir kütleçekim kuyusu yaratır. Bir yıldızın gözlemlenen konumu, yıldızdan gelen ışığın Güneş'i geçerken eğri bir yol izlemesine neden olan Güneş'in kütleçekimin etkisiyle değişir.

İkizler paradoksu

"İkizler paradoksu" olarak bilinen bir sonuç, yeni doğan ikizler kullanılarak açıklanır. İkizlerden biri Dünya'da kalırken, diğeri bir roketle 4 ışık yılı uzakta bir yıldıza yolculuğa çıkar. Roketin ortalama hızı 0,8*c*'dir, yani Dünya'da kalan ikizin 10. doğum gününde 8 ışık yıllık yolculuğundan döner. Oysa roketteki saate göre, diğer ikizin 6. doğum günüdür. Saat hareket eden bir zaman çerçevesi içindedir, bu yüzden daha yavaş ilerlemiştir.

Görelilik, roketteki ikizin de kendisini hareketsiz saymaya hakkı olduğunda ısrar eder; bu da bir paradoksa yol açar gibi görünüyor –onun bakış açısına göre, Dünya'daki ikiz hareket ediyordu. Paradoks şöyle çözülür: Yalnızca roketteki ikiz ivme kazanır, dolayısıyla hem giderken hem de yön değiştirip geri dönerken zaman genişlemesine uğrar. Dünya'daki ikiz, tek referans çerçevesinde kalırken, roketteki ikiz iki referans çerçevesinde olmuştur –biri giderken, diğeri gelirken. Bu yüzden ikizlerin durumu simetrik değildir ve evde kalan ikiz, gerçekten de kardeşinden dört yaş büyüktür.

İkizler paradoksu, bilimkurguda popüler bir tema olmuştur. *Maymunlar Gezegeni* filminde astronotlar Dünya'ya dönünce, binlerce yıl geçtiğini ve gezegenin artık maymunlar tarafından yönetildiğini görürler. *Interstellar (Yıldızlararası)* filminde, her karakter için geçen zamanın göreliliğe göre doğru olduğundan emin olmak için fizikçi danışmanlar çalıştırılır.



GÖRELİLİĞİN KESİN BİR ÇÖZÜMÜ KARA DELİKLERİ ÖNGÖRÜR

UZAYZAMANDA EĞRİLER

KISACA

ASTRONOM
Karl Schwarzschild
(1873–1916)

ÖNCE
1799 Pierre-Simon Laplace *"corps obscures"* yani "kara cisimler" dediği kara deliklerle ilgili bir teori geliştirir.

1915 Albert Einstein'ın genel görelilik teorisi, kütleçekim kuvvetine, uzay ve zaman eğrilmesinin neden olduğunu gösterir.

SONRA
1931 Subrahmanyan Chandrasekhar, nötron yıldızı ya da kara delik haline gelen yıldız çekirdeklerinin kütlesini hesaplar.

1979 Stephen Hawking, kara deliklerin kuantum dalgalanmalarının bir sonucu olarak gerçekten ışınım yaydıklarını öne sürer.

1998 Andrea Ghez, Samanyolu'nun merkezinde süper-kütleli bir kara deliğin oturduğunu gösterir.



1916'da Alman matematikçi Karl Schwarzschild, Albert Einstein'ın bile yapamadığı bir şeyi becerdi –genel göreliliğin alan denklemlerine, kesin yanıtlar verebilen bir çözüm getirdi. Einstein'ın alan denklemleri, uzayı ve zamanı (ya da uzayzamanı) kütleçekim eylemiyle ilişkilendiren karmaşık bir formüller kümesidir. Schwarzschild'ın, Schwarzschild çözümü olarak bilinen başarısı, denklemleri çözüp, kütlenin varlığında uzayzamanın tam olarak nasıl eğrildiğini göstermekti. Bu çözüm, Güneş ve Dünya gibi nesnelerin kütleçekimin, uzayzamanı görelilik teorilerine uygun olarak nasıl eğdiğini gösterdi. Bir kuşak sonra, Schwarzschild'ın matematiği, en karanlık nesneye, kara deliğe ışık tutmak için kullanıldı.

Kaçış yok

Kara delikler yüzyıl önce öngörülmelerine rağmen, göreliliğin ilk günlerinde saf teorik nesnelerdi. Fransız astronom Pierre-Simon Laplace *corps obscures*'leri, eş deyişle kütleçekim-

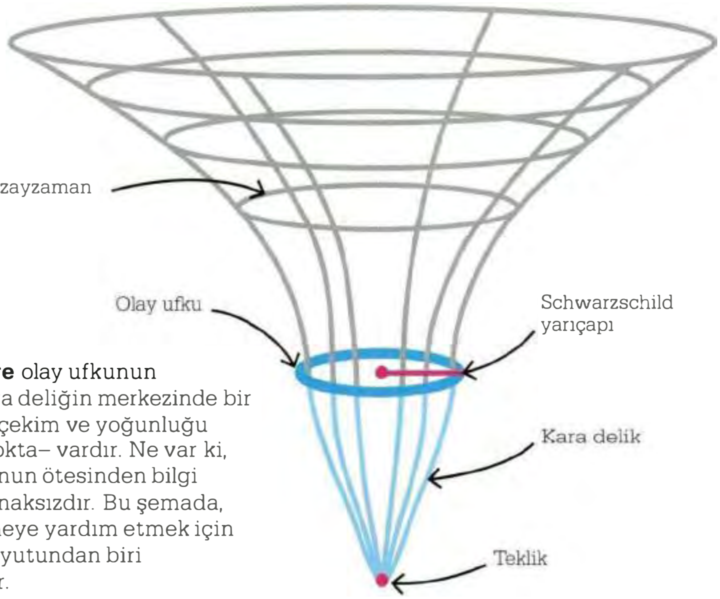
Ayrıca bakınız: Kütleçekimsel tedirginlikler 92-93 ▪ Görelilik teorisi 146-153
Yıldızların yaşam döngüleri 178 ▪ Hawking ışınımı 255 ▪ Samanyolu'nun kalbi 297

lerinden kaçmak için gerekli hız ışık hızını aşacak kadar yoğun nesneleri teorileştirmişti. Modern kara delik tanımı da buna benzer: Uzayda kütleçekiminden hiçbir şeyin, ışığın bile kaçamadığı nesneler.

Olay ufku

Schwarzschild çözümü, verili bir kütle için bir kara deliğin büyüklüğünü hesaplamak üzere kullanılabilir. Bir kara delik yaratmak için kütle, Schwarzschild çözümünün öngördüğünden daha küçük yarıçaplı bir hacme sıkışmalıdır. Yarıçapı, Schwarzschild yarıçapından daha küçük olacak kadar yoğun bir nesne, uzayzamanı o kadar eğer ki, onun kütleçekimine direnmek olanaksızdır –bir kara delik yaratır. Schwarzschild yarıçapına yaklaşan her kütlenin ya da ışığın kara deliğin içine çekilmesi kaçınılmazdır. Uzayda, bir kara deliğin etrafını Schwarzschild yarıçapı mesafesinde saran noktalar, "olay ufkunu" oluşturur; ötesindeki olayları gözlemlemek olanaksız olduğu için olay ufku deniliyor. Kara delikten dışarıya hiçbir şey çıkmaz –hiçbir kütle, hiçbir ışık, içinde ne olduğuna ilişkin hiçbir bilgi yoktur.

Schwarzschild çözümü, astronomların mevcut kara deliklerin kütlelerini hesaplamalarına olanak verir; ama kesin bir sonuç olanaksızdır, çünkü kara delikler döner ve elektrik yükü taşır ve matematik bu faktörleri hesaba katmaz. Güneş bir kara delik olsaydı, olay ufku merkezden 3 kilometre ötede olurdu. Dünya kütlesinde bir kara deliğin yarıçapı 9 milimetre olurdu. Ne var ki, bu kadar küçük cisimlerden kara delikler meydana getirmek olanaksızdır; kara deliklerin, en az üç Güneş kütlesi büyüklüğünde yıldızların çökmesiyle oluştuğu sanılmaktadır. ■



Teoriye göre olay ufkunun ötesinde, kara deliğin merkezinde bir teklik –kütleçekim ve yoğunluğu sonsuz bir nokta– vardır. Ne var ki, bir olay ufkunun ötesinden bilgi edinmek olanaksızdır. Bu şemada, görselleştirmeye yardım etmek için uzayın üç boyutundan biri kaldırılmıştır.



Karl Schwarzschild

Karl Schwarzschild'ın matematik yetenekleri daha çocukken belliydi. 16 yaşına geldiğinde, çift yörüngelerin mekaniğiyle ilgili ilk bilimsel makalesini yayımlamıştı ve 28 yaşında, Aşağı Saksonya'da Göttingen Üniversitesi'nde profesör oldu.

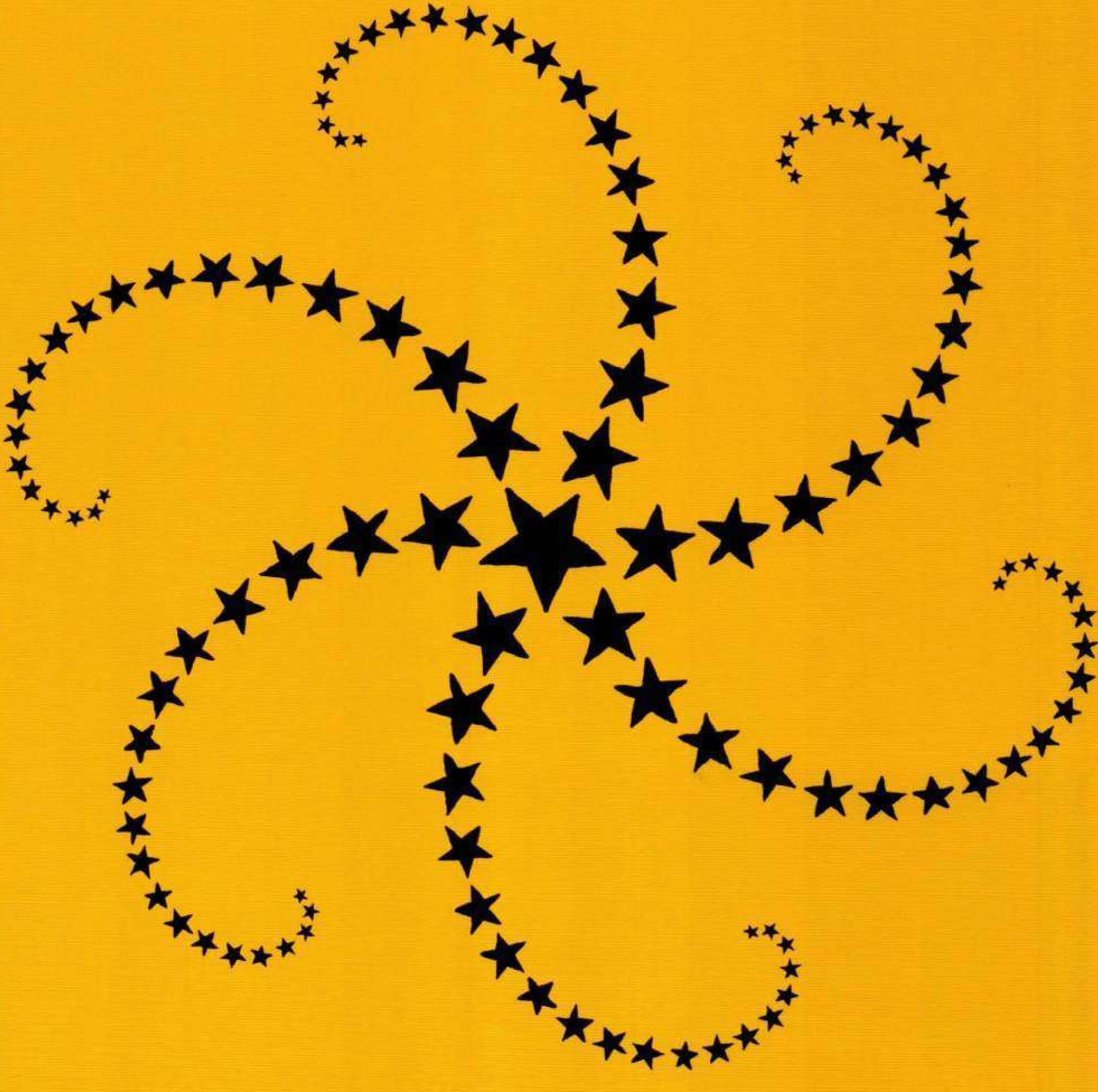
Schwarzschild çağın en önemli bilimlerine katkılarda bulundu: radyoaktivite, atom teorisi ve spektroskobi. 1914'te, I. Dünya Savaşı'nda savaşmak üzere askere yazıldı ama yine de matematiğe ayıracak zaman buldu. 1915'in sonunda Albert Einstein'a ilk hesaplamalarından bazıları gönderip şunu söyledi: "Gördüğünüz gibi savaş, ağır top ateşine rağmen her şeyden uzaklaşıp, sizin düşüncelerinizin dünyasında bu yürüyüşe çıkmama izin verecek kadar bana kibar davrandı." Ertesi yıl Schwarzschild kendi adını taşıyan çözümü sundu. Rusya cephesindeyken otoimmün bir hastalığa yakalandı ve Mayıs 1916'da öldü.

Önemli eserleri

1916 *On the Gravitational Field of a Mass Point after Einstein's Theory*

SARMAL BULUTSULAR YILDIZ SİSTEMLERİDİR

SARMAL GALAKSİLER



KISACA

ASTRONOM
Vesto Slipher (1875–1969)

ÖNCE
1842 Avusturyalı fizikçi Christian Doppler, Doppler etkisini –gözlemciye göre hareket eden bir nesneden gelen dalgaların algılanan frekansında bir değişim– önerir.

1868 William Huggins, Doppler etkisini kullanarak Dünya'dan uzaklaşan bir yıldızın hızını belirler.

SONRA
1929 Edwin Hubble sarmal galaksilerin uzaklaşma hızı ile uzaklıkları arasında bir bağ bulgular.

1998 Saul Perlmutter ve meslektaşları, Evren'in genişlemesinin son 5 milyar yıldır ivme kazanmakta olduğunu keşfeder.

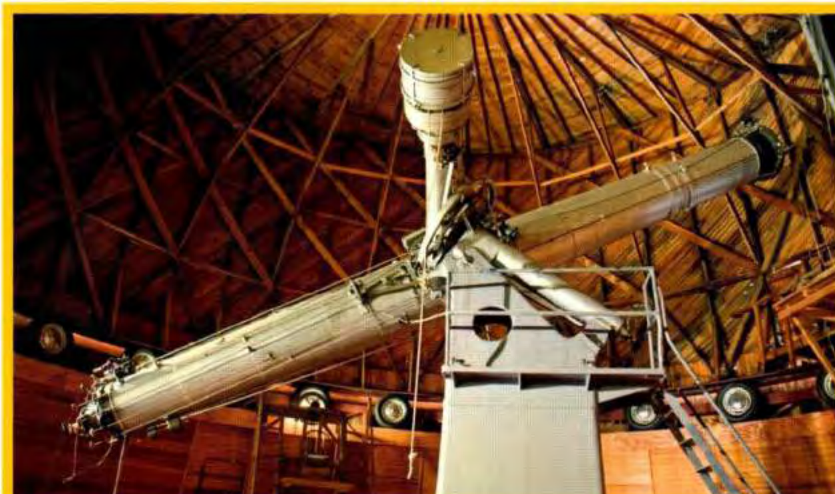
1780'lerde ve 1790'larda Britanyalı astronom William Herschel çok sayıda bulutsuyu katalogladı ve bunların bir kısmının büyüklük ve doğaları bakımından Samanyolu'yla kıyaslanabilir olduklarını tahmin etti. Çıkarımlarında Herschel, Alman filozof Immanuel Kant'ın bir önerisini izliyordu: Bulutsular büyük yıldız diskleri –Samanyolu'ndan bağımsız ve çok büyük mesafelerle ondan ayrı "ada Evren'ler"– olabilir. 19. yüzyılda gelişmiş teleskoplar kullanan Britanyalı astronom Lord Rosse, bazı bulutsuların bir sarmal şeklinde düzenlenmiş "kolları" olduğunu keşfederken, yurttaşı William Huggins de birçok bulutsunun yıldızlardan oluşan bir kümeden ibaret olduğunu buldu. Bununla birlikte, 20. yüzyılın başında Indianalı genç bilim insanı Vesto Slipher incelemeye başlayana kadar, bulutsular hakkında, yıldız içerebileceği gerçeği dışında fazla bir şey bilinmiyordu.

> Bana öyle geliyor ki, bu keşifle birlikte, büyük soru, sarmalların Samanyolu sistemine ait olup olmadıkları sorusu, büyük bir kesinlikle yanıtlanır: Değiller.
>
> **Ejnar Hertzsprung**
> ***Vesto Sliper'e bir mektupta***

Lowell Gözlemevi

1901'den itibaren Slipher, Arizona'da, Flagstaff'taki Lowell Gözlemevinde çalıştı. Gözlemevi, Amerikalı astronom Percival Lowell tarafından 1894'te kurulmuştu. Lowell bu yeri çok az bulutlu yüksek rakımından (2.100 metrenin üzerinde) ve her gece iyi bir görüntüyü garantilemek için kent ışıklarına uzaklığından ötürü tercih etmişti. Lowell'in girişimiyle, ilk kez bir gözlemevi bilinçli olarak en iyi gözlem için uzak, yüksek bir yere inşa edilmişti.

Lowell, Slipher'ı başlangıçta kısa süreliğine işe aldı ama o, bütün meslek yaşamı boyunca orada kaldı. Gösterişsiz yeni eleman meşaleyi gösterişli işverenine bırakmaya razı olunca, Lowell ile Slipher birlikte iyi çalıştı. Slipher yetenekli bir matematikçiydi ve pratik mekanik becerileri vardı; yeni spektrografik donanımın kurulmasında bu becerilerini kulandı. Spektrografide –gök nesnelerinden gelen ışığı, ışığı oluşturan dalga boylarına ayırma, o dalga boylarını ölçme ve analiz etmede– ileri teknikler geliştirme işine koyuldu (s. 113).



Slipher, Lowell Gözlemevinde sarmal bulutsuları gözlemlemek için 61 santimetrelik Alvan Clark teleskobunu kullandı. Bugün, insanlar gözlemevinin ziyaretçi merkezinde özgün teleskobu kullanabiliyor.

Ayrıca bakınız: Samanyolu 88-89 ▪ Bulutsuları incelemek 104-05 ▪ Bulutsuların öznitelikleri 114-15 ▪ Evren'i ölçmek 130-37 Samanyolu'nun şekli 164-65 ▪ Evren'in doğuşu 168-71 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172-77

Sarmal şeklinde bulutsuların maviye kayma ve **kızıla kayma** ölçüleri, bazıları Dünya'ya doğru hareket ederken, bazılarını uzaklaşmakta olduğunu gösterir.

→

Sarmal bulutsular **Samanyolu'nun içindeyse,** galaksinin geri kalan kısmına göre o kadar hızlı hareket ediyorlar ki, **uzun süre galaksinin içinde kalamazlar.**

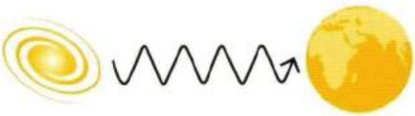
→

Sarmal bulutsular Samanyolu'nun dışında **ayrı galaksiler** olabilir.

Bulutsuları incelemek

Slipher'in ilk çalışmaları ve araştırmaları gezegenlere yönelikti ama 1912'den itibaren, Lowell'in isteği üzerine gizemli sarmal bulutsuları incelemeye başladı. Lowell'in bir teorisine göre, bulutsular, kaynaşıp yeni Güneş sistemlerine dönüşen gaz sarmallarıydı. Slipher'den bulutsuların dış kenarlarından gelen ışık tayflarını kaydetmesini, kimyasal yapılarının Güneş Sisteminin dev gaz gezegenlerinkine benzeyip benzemediğini ortaya çıkarmasını istedi.

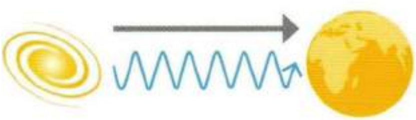
Dünya'ya doğru hareket eden galaksilerin tayfları "maviye kaymalar", Dünya'dan uzaklaşanlar "kızıla kaymalar" sergiler; çünkü ışık dalgaları Dünya'dan görüldüğünde basık ya da gerilmiş olur. Bunlara, bu tür fenomenleri ilk kez açıklayan Avusturyalı fizikçi Christian Doppler'den ötürü Doppler kaymaları denilir.





Bu galaksi Dünya'ya göre hareket etmiyor. Ondan gelen ışık dalgaları, Dünya'da normal, etkilenmemiş frekanslarında saptanır.

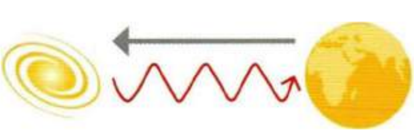
Durağan galaksilerin tayflarındaki emisyon çizgileri, galaksideki bileşen gazların dalga boylarıyla tutarlıdır.

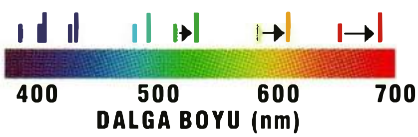




Bu galaksi Dünya'ya doğru hareket ediyor. Ondan gelen ışık dalgaları Dünya'da biraz kısalmış ya da daha yüksek bir frekansta saptanır.

Yaklaşan galaksilerin tayflarındaki emisyon çizgileri daha kısa, mavi dalga boylarına doğru kayar: Bu, bir "maviye kayma"dır.





Bu galaksi Dünya'dan uzaklaşıyor. Ondan gelen ışık dalgaları Dünya'da biraz uzamış ya da daha düşük bir frekansta saptanır.

Uzaklaşan galaksilerin tayflarındaki emisyon çizgileri daha uzun, kırmızı dalga boylarına doğru kayar: Bu, bir "kızıla kayma"dır.

Slipher, Lowell'in spektrografının, Gözlemevi'nin 61 santimetrelik mercekli teleskobunun göz merceğine takılan karmaşık bir aletin mekanizmasında küçük düzeltmeler yaparak duyarlılığını artırmayı becerdi. 1912 sonbaharında ve kışında, Andromeda takımyıldızında bulunan ve o sırada Andromeda bulutsusu olarak bilinen en büyük sarmal bulutsudan bir dizi spektrogram aldı.

Bulutsunun tayfındaki tayf çizgileri örüntüsü (bileşenlerin bir parmak izi gibi) "maviye kayma" göstermekteydi –çizgiler beklenmedik bir biçimde, Doppler kayması olarak bilinen etkiyle, tayfın kısa dalgalı/yüksek frekanslı mavi ucuna doğru kayıyorlardı (*bkz.* soldaki şema). Bunun tek bir anlamı olabilirdi: Andromeda bulutsusu Dünya'ya hatırı sayılır bir hızla yaklaştığı için bulutsudan gelen ışık dalgaları kısalıyordu ya da büzülüyordu ve frekansları yükseliyordu. Slipher'in hesaplamaları, bulutsunun saniyede 300 kilometre hızla yaklaştığını gösterdi. Daha önce astronomik cisimler için Doppler kaymaları ölçülmüştü ama bu büyüklükte kaymalar görülmemişti. Slipher şunu iddia etti: "Şimdilik başka bir yorumumuz yoktur. Andromeda bulutsusunun Güneş Sistemine yaklaşmakta olduğu sonucuna varabiliriz."



Slipher'in 1100 km/s hızla uzaklaştığını saptadığı NGC 4565 galaksisi, Dünya'dan bakıldığında görülen ince şeklinden ötürü İğne galaksisi olarak da bilinir.

Doppler kaymalarını keşfetmek

Sonraki birkaç yılda Slipher 14 sarmal bulutsu daha inceledi ve neredeyse hepsinin, Dünya'ya göre inanılmaz hızlarda yol aldıklarını buldu. En önemlisi bazıları Dünya'ya doğru hareket ederken, büyük çoğunluğu dalga boylarının gerilmiş olduğu kızıla kaymış tayflar gösteriyordu, yani Dünya'dan uzaklaşıyorlardı. Örneğin M104 olarak bilinen bulutsu (NGC 4594 de denilir), saniyede yaklaşık 1000 kilometre gibi şaşırtıcı bir hızla uçarak uzaklaşıyordu. M77 ya da NGC 1068 denilen başka biri, saniyede 1100 kilometre hızla uzaklaşıyordu. Gözlemlenen 15 galaksinin 11'i önemli ölçüde kızıla kaymıştı. 1914'te Slipher vardığı sonuçları, Amerikan Astronomi Derneğine sundu ve ayakta alkışlandı.

Slipher sarmal bulutsular üzerine bir sonraki metnini 1917'de sunduğu sırada, kırmızıya kaymış bulutsuların maviye kaymış bulutsulara oranı 21:4'e yükselmişti. Metninde Slipher, ortalama uzaklaşma ya da yakınlaşma hızlarının –ışınsal hız olarak bilinir– saniyede 700 kilometre olduğunu fark etti. Bu hız, herhangi bir yıldızın Dünya'ya göre o zamana kadar ölçülmüş hareket hızından çok fazlaydı. Slipher, sarmal bulutsuların Samanyolu'nda bu hızlarla hareket etmelerini inanılmaz bulup şunu söyledi: "Sarmal bulutsuların uzaktan görülen yıldız sistemleri olduğu uzun süredir öne sürülmektedir... Bu teori, bana öyle geliyor ki, şimdiki gözlemlerle doğruluk kazanıyor." Slipher, bazı bulutsuların, özellikle sarmal bulutsuların Samanyolu'ndan ayrı galaksiler olduğunu öne süren Kant'ı tekrarlıyordu.

1920'de, kısmen Slipher'in bulgularının kışkırtmasıyla, sarmal bulutsuların Samanyolu dışında ayrı galaksi olup olmadıklarını görüşmek üzere Washington'da resmi bir tartışma gerçekleşti. Şimdi anıldığı adıyla "Büyük Tartışma"da önde

Vesto Slipher



Vesto Slipher 1875'te Indiana'da, Mulberry'de bir çiftlikte doğdu. Mezun olduktan hemen sonra Arizona'da Lowell Gözlemevi'nde çalıştı ve yarım yüzyıldan fazla bir süre orada kaldı. Slipher'in büyük keşiflerinin çoğunluğu meslek yaşamının ilk döneminde gerçekleşti. Gezegenlerin dönüş periyotların araştırarak ve örneğin, Venüs'ün dönüşünün çok yavaş olduğuna ilişkin kanıtlar bularak başladı. 1912 ile 1914 arasında en önemli keşfini yaptı –bazı sarmal bulutsuların yüksek hızda hareket ettiklerini keşfetti. 1914'te Slipher sarmal galaksilerin dönüşünü keşfetti, saniyede yüzlerce kilometrelik dönüş hızları ölçtü. Yıldızlararası uzayda gaz ve toz bulunduğunu da tanıtladı. Slipher 1926'dan 1952'ye kadar Lowell Gözlemevinin müdürlüğünü yaptı. Bu sürede, 1930'da Clyde Tombaugh'un Plüton'u keşfetmesine yol açan Neptün-ötesi gezegenler araştırmasını yönetti.

Önemli eserleri

1915 *Spectrographic Observations of Nebulae*

gelen iki Amerikalı astronom karşıt tutumları savundu –Harlow Shapley, sarmal bulutsuların Samanyolu'nun bir parçası olduğunu, Heber D. Curtis ise Samanyolu'nun çok ötesinde olduklarını savundu. Tartışmanın sonunda ikisi de fikrini değiştirmedi ama duruma vâkıf olan birçok kişi, sarmalların Samanyolu'nun dışında olması gerektiği sonucunu çıkarıyordu.

Slipher'in mirası

Astronomi topluluğunda birçok kişinin coşkulu tepkisine rağmen, bazıları Slipher'in bulgularını sorgulamayı sürdürdü. On yıldan fazla bir süre boyunca, başkaları da Slipher'in düşüncelerine inanmaya ve içerimlerini anlamaya başlayana kadar, sarmal bulutsuların Doppler kaymalarını araştıran tek kişi oydu.

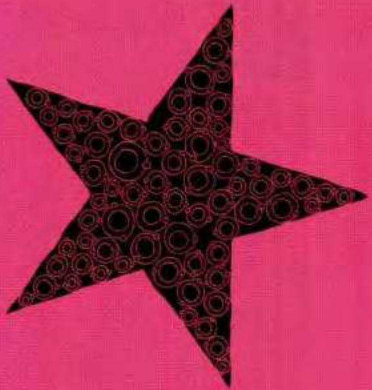
1924'te Amerikalı astronom Edwin Hubble'ın yeni bir metni, sarmal bulutsuların doğasıyla ilgili tartışmalara son noktayı koydu. Hubble, Andromeda bulutsusu da aralarında olmak üzere bazı bulutsularda Sefeit değişkenler denilen bir yıldız sınıfı gözlemlemişti. Yaptığı gözlemlerin bir sonucu olarak Hubble, Andromeda "bulutsusunun" ve ona benzer diğer bulutsuların Samanyolu'nun parçası olamayacak kadar uzak olduklarını, dolayısıyla Samanyolu'nun dışında galaksi olmaları gerektiğini ilan edebildi. Slipher'in 1917'ye dayanan kuşkularının haklı olduğu kanıtlanmıştı. Hubble'ın metni kaleme aldığı sırada Slipher 39 sarmal bulutsunun ışınsal hızlarını hesaplamıştı ve çoğunluğu, yüksek uzaklaşma hızları sergilemekteydi –saniyede 1125 kilometre kadar. Hubble, Slipher'in Samanyolu'nun dışında olduklarını kanıtladığı galaksilerin kızıla kayma ölçümlerini kullanıp, galaksilerin kızıla kaymaları ile uzaklıkları arasında bir ilişki buldu.

> Vakaların büyük çoğunluğunda bulutsu uzaklaşıyor; en büyük hızlar pozitiftir. Bu pozitif hızların çarpıcı üstünlüğü bizden ya da Samanyolu'ndan genel bir kaçışı gösteriyor.
> **Vesto Slipher**

1920'lerin sonuna gelindiğinde Hubble bu sonucu kullanıp, Evren'in genişlemekte olduğunu doğrulamıştı. Bu yüzden Slipher'ın 1912-1925 yıllarında yaptığı çalışmalar, bugün 20. yüzyılın en büyük astronomik keşfi sayılan gelişmede can alıcı bir rol oynadı, genişleyen bir Evren'e dayalı kozmoloji teorilerine ve galaksilerin devinimlerine ilişkin daha ileri araştırmalara zemin hazırladı. Andromeda galaksisine gelince, yaklaşık 4 milyar yıl içinde Samanyolu'yla çarpışması beklenmektedir ve ikisinin birlikte yeni bir eliptik galaksi oluşturmaları olasıdır. ■



4 milyar yıl kadar sonra, Andromeda galaksisi Samanyolu'yla çarpışınca gece gökyüzü böyle görünecektir.



YILDIZLAR HİDROJEN VE HELYUMLA DOLUDUR

YILDIZ BİLEŞİMİ

KISACA

ASTRONOM
Cecilia Payne-Gaposchkin
(1900–1979)

ÖNCE
1850'ler Gustav Kirchhoff, Güneş'in tayfındaki koyu çizgilerin, elementlerin ışığı soğurmasından kaynaklandığını gösterir.

1901 Annie Jump Cannon, yıldızları tayflarındaki koyu çizgilerin gücüne göre sınıflandırır.

1920 Hindistanlı fizikçi Maghnad Saha, bir yıldızda ısının, basıncın ve iyonlaşmanın nasıl ilişkili olduğunu kanıtlar.

SONRA
1928–29 Albrecht Unsöld ve William McCrea, birbirinden bağımsız olarak, Güneş'in atmosferinde bulunan hidrojenin diğer elementlerin bir milyon katı olduğunu bulgular.

1933 Danimarkalı astrofizikçi Bengt Strömgren, yıldızların yalnızca atmosferlerinde değil, her yanıyla esasında hidrojen olduklarını gösterir.

1923'te astronomların ortak görüşü şuydu: Güneş'in ve diğer yıldızların Dünya'ya benzer bir kimyasal bileşimleri vardır. Bu ınanç, yıldız tayflarında, yıldız atmosferlerindeki kimyasal elementlerin ışığı soğurmasının neden olduğu koyu çizgilerin (Fraunhofer çizgileri) analizine dayanmaktaydı. Tayflar oksijen ve hidrojen, magnezyum, sodyum ve demir gibi Dünya'da yaygın olan elementlerin karşılığı olan güçlü çizgiler içermekteydi; bu nedenle, Dünya'nın ve yıldızların az çok aynı oranlarda benzer kimyasal elementlerden meydana geldiği varsayılmaktaydı. O yıl Britanyalı yüksek lisans öğrencisi Cecilia Payne'nın Massachusetts'teki Harvard College Gözlemevine (HCG) gelmesiyle birlikte bu yerleşik görüş altüst olacaktı.

> Yaşlı bilim insanının ödülü, muğlak bir taslağın usta işi bir manzara haline geldiğini görmüş olma duygusudur.
> **Cecilia Payne-Gaposchkin**

Yıldız tayfları

Payne, HCG'nin yıldız tayfları fotoğraf koleksiyonunu analiz etmeye koyuldu. Yıldız tayfları ile sıcaklıkları arasındaki ilişkiyi netleştirmek istiyordu. Ayrıca, soğurma çizgilerinin örüntüsü farklı yıldız sınıflarının tayfları arasında değişiyor gibi göründüğü için, bu yıldız sınıflarında kimyasal bileşim bakımından hangi farkların olabileceğini de görmek istiyordu.

1901'den itibaren HCG'deki astronomlar yıldızları yedi ana tayf tipinden oluşan bir sekans şeklinde sınıflandırmış ve sekansın, yıldızların yüzey sıcaklığıyla ilişkili olduğuna inanmışlardı. Ne var ki, doktora tezinde Payne, Hint fizikçi Meghnad Saha'nın 1920'de formüle ettiği bir denklemi uyguladı. Denklem, bir yıldızın tayfını atmosferindeki elementlerin iyonlaşmasıyla (elektriksel yük ayrılması) ve yüzey sıcaklığının iyonlaşmasıyla ilişkilendiriyordu. Payne, yıldızların tayf sınıfları ile yüzey sıcaklıkları arasında bir bağ olduğunu tanıtladı. Yıldız tayfları arasındaki soğurma çizgileri çeşitliliğinin, kimyasal elementlerin bollu-

Ayrıca bakınız: Güneş'in tayfı 112 ▪ Yıldızların karakteristikleri 122-27
Yıldızlarda nükleer füzyon 166-67 ▪ Enerji üretimi 182-83

ğunun farklı olmasından değil, farklı ısılarda değişen iyonlaşma miktarlarından kaynaklandığını da gösterdi.

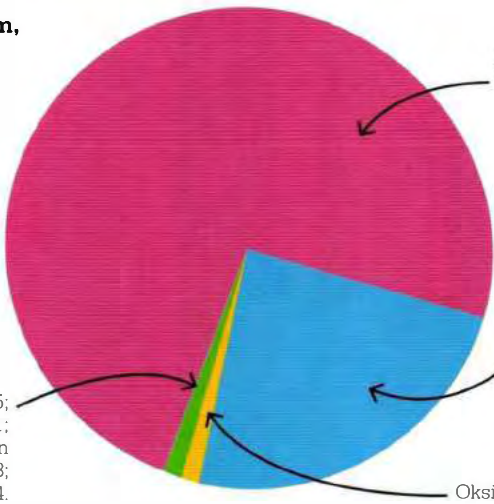
Payne, yıldız tayflarında soğurma çizgilerinin yoğunluğunun kimyasal elementlere ilişkin ancak ham tahminler verebileceğini, bu yüzden farklı elementlerin atomlarının iyonlaşma durumları gibi başka faktörlerin de hesaba katılması gerektiğini biliyordu. Atom fiziği bilgisini kullanarak, birçok farklı yıldızın tayflarında bulunan 18 elementin oranlarını belirledi. Helyumun ve hidrojenin Dünya'dakinden çok daha bol olduğunu, yıldızlardaki maddenin neredeyse tamamını oluşturduğunu buldu.

Astronomların tepkisi

1925'te Payne'in tezi, değerlendirmesi için astronom Henry Russell'a gönderildi. Russell, Payne'in vardığı sonuçların "açıkça olanaksız" olduğunu ilan etti ve bulduğu hidrojen ve helyum düzeylerinin "gerçek olmadığını" söyleyen bir ifade eklemesi için Payne'e baskı yaptı. Ne var ki, dört yıl sonra Russell, Payne'in haklı olduğunu kabul etti.

> Olgularınızdan eminseniz, tutumunuzu savunmalısınız.
> **Cecilia Payne-Gaposchkin**

Payne'in keşifleri devrimciydi. Birincisi, pek çok yıldızın kimyasal açıdan benzer olduklarını saptadı. İkincisi, bir yıldızın tayfından yola çıkarak sıcaklığını belirlemeyi gösterdi. Üçüncüsü, hidrojenin ve helyumun Evren'de egemen elementler olduklarını gösterdi –Büyük Patlama teorisine doğru kilit bir adım. ▪



Hidrojen ile helyum, bütün galaksinin atomlardan oluşan maddesinin (doğası anlaşılmayan kara madde hariç) yüzde 98'ini oluşturur.



Cecilia Payne-Gaposchkin

Cecilia Payne 1900'de İngiltere'de, Wendover'da doğdu. 19 yaşında Cambridge'de, Newnham College'de bir burs kazandı ve orada botanik, fizik ve kimya okudu. Arthur Eddington'ın bir dersine katıldıktan sonra, astronomiye geçti. 1923'te, Harvard College Gözlemevinde yeni bir lisansüstü derse katılmak üzere ABD'ye gitti. İki yıl içinde kendi devrimci doktora tezi *Stellar Atmospheres*'i çıkardı. Araştırmalarının çoğu değişken yıldızlara ve novalara (patlayan beyaz cüceler) odaklandı. Bu çalışma, Samanyolu'nun yapısını ve gezegen evriminin yollarını açıklamaya yardımcı oldu. 1931'de ABD vatandaşı oldu ve 1934'te Rus astronom Sergey Gaposchkin'le evlendi. 1956'da Harvard Üniversitesi'nde astronomi profesörü, Harvard'da ilk kadın profesör yapıldı. 1979'da öldü.

Önemli eserleri

1925 *Stellar Atmospheres*
1938 *Variable Stars*
1957 *Galactic Novae*



GALAKSİMİZ DÖNÜYOR

SAMANYOLU'NUN ŞEKLİ



KISACA

ASTRONOM
Bertil Lindblad (1895–1965)

ÖNCE
1904 Jacobus C. Kapteyn, yıldızların karşıt yönde hareket eden iki akıntıya nasıl bölünebildiğini gösterir.

1917 Vesto Slipher, sarmal bulutsuların herhangi bir yıldızdan daha hızlı hareket ettiğini gösterir.

1920 Harlow Shapley, galaksinin merkezinin Yay burcunda olduğunu öngörür, 50.000 ışık yılı uzakta olduğunu hesaplar (şimdi 26.100 ışık yılı olduğu biliniyor).

SONRA
1927 Jan Oort, galaksinin döndüğünü doğrular ve yıldızlardan oluşan büyük bir yıldız kümesinin merkezinde bir şişlik oluşturduğunu öne sürer.

1929 Edwin Hubble, diğer galaksilerin Samanyolu'nun çok ötesinde olduğunu gösterir.

1979 Vera Rubin galaksi dönüşünü kullanarak, galaksilerin görünmez kara madde içerdiğini gösterir.

1920'lerde iki karşıt Evren görüşü vardı. Bazı astronomlar, bütün Evren'in Samanyolu'ndan ibaret olduğunu düşünüyordu. Bazıları, gözlemlenen sarmal bulutsuların Samanyolu'nun kenarında bulut kütleleri değil, çok uzakta kendi başına galaksi olduklarını öne sürmekteydi.

1926'da İsveçli astronom Bertil Lindblad Samanyolu'nun olası şeklini irdeledi ve dönen bir sarmal biçimini aldığı sonucuna vardı. Lindblad, diğer iki astronomun çalışmalarını alıp geliştirdi. Bunların ilki, Samanyolu'nun Evren'in tamamını oluşturduğuna inanan Amerikalı Harlow Shapley'di. Shapley, gözlemlenen çok sayıda küresel yıldız kümeleri kullanılarak galaksinin kenarının haritasının çıkarılabileceğini ve merkezinin Yay burcunda olduğunu öne sürmekteydi. İkincisi, yıldız akıntısı dediği bir fenomen tarif

Güneş Sistemi, Samanyolu'nun merkezinin yörüngesinde saniyede 230 kilometre hızla dönüyor. Yıldızlar merkeze yaklaştıkça, yörüngede daha hızlı döner.

Ayrıca bakınız: Sarmal galaksiler 156-61 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172-77 ▪ Oort bulutu 206 ▪ Kara madde 268-71

eden Hollandalı Jacobus C. Kapteyn'di. Ona göre yıldızlar rastgele yönlere hareket etmiyor, grup halinde hareket edip, bir yöne ya da karşıt yöne gidiyor gibi görünüyorlardı. Lindblad'ın kendisi de yıldızların mutlak kadirlerini tayflarından yola çıkarak ölçme konusunda önde gelen bir uzmandı ve Dünya'dan uzaklıklarını hesaplayabiliyordu. Bu verileri, küresel kümelerin devinimine ilişkin gözlemleriyle birleştirip ilginç bir keşif yaptı.

Aynı alt-sistemdeki yıldızlar, görünüşe göre **aynı yönde** ve **aynı hızda** hareket ediyorlar.

Diğer alt-sistemlerdeki yıldızlar **karşı yönde** hareket ediyorlarsa, geride kaldıkları içindir ama hepsi **aynı yönde** hareket ediyor.

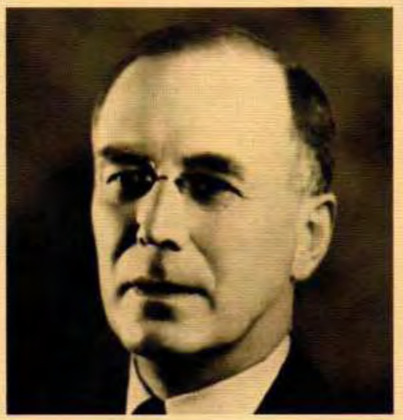
Galaksi, dış bölgelerin iç bölgelerden daha yavaş hareket ettiği **sarmal bir disk** şeklindedir.

Alt-sistemlerde dönme

Lindblad, yıldızların alt-sistemlerde hareket ettiğini ve her alt-sistemin farklı hızlarda hareket ettiğini gördü. Bundan, Kapteyn'in yıldız akıntısının aslında galaksi dönüşünün kanıtı olduğu sonucunu çıkardı; yani, Samanyolu'nun yıldızları, merkezi bir noktanın etrafında aynı yönde hareket ediyordu. Güneş Sisteminin ilerisinde akan yıldızlar merkeze daha yakındı ve merkezden daha uzak olan yıldızlar, geride kaldıkları için karşıt yönde hareket ediyor gibi görünüyorlardı. Shapley'in öngördüğü gibi, Lindbald galaksi merkezini Yay burcuna yerleştirdi. Galaksi merkezinden daha uzak olan alt-sistemlerin, daha yakın olanlardan daha yavaş döndüklerini varsaydı. 1927'de, Kapteyn'in öğrencilerinden Jan Oort'un yaptığı gözlemlerle, bu varsayımı doğruladı.

Samanyolu'nun çok yavaş da olsa (bir yörüngesinin tamamlanması 225 milyon yıl alır) dönen burgaçlı bir disk olduğu ortaya çıktı. Lindblad Samanyolu'nun dışında bulunan cisimlere ilişkin hiçbir kanıt sunmamış olmasına rağmen, disk-şeklinde şiş çekirdekli galaksi modeli, benzer görünümlü nesnelerin de galaksi olduğu düşüncesinin doğruluğunu gösterdi. Ne var ki, Oort'un gözlemleri yeni bir bilmeceyi ortaya çıkaracaktı. Galaksi, görünür maddesinin kütlesinin açıklayabildiğinden daha hızlı dönüyor gibi görünüyordu. Bu, bugüne kadar devam eden bir gizemin ilk işaretiydi: kara madde. ■

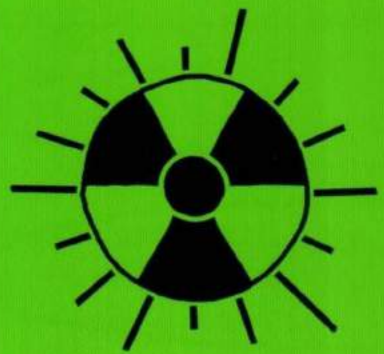
Bertil Lindblad



Bertil Lindblad İsveç'te, Örebro'da büyüdü. Stockholmün kuzeyinde Uppsala Üniversitesi'ni bitirdi ve oradaki gözlemevinde asistan oldu. Lindblad Uppsala'da çalışırken yaptığı gözlemler, 1926'da yayımlanan galaksi deveranı teorisine yol açtı. Ertesi yıl, daha 30'lu yaşlarındayken Lindblad'a Stockholm Gözlemevi müdürlüğü teklif edildi ve İsveç Kraliyet Bilimler Akademisinin baş astronomu oldu. Ölünceye kadar bu görevi sürdürdü, birçok ilerlemeyi denetledi. Son yıllarında, 1962'ten itibaren Şili'de bulunan Avrupa Güney Gözlemevinin yöneticilerinden biriydi ve Uluslararası Astronomi Birliğinin başkanı oldu.

Önemli eserleri

1925 *Star-Streaming and the Structure of the Stellar System*
1930 *The Velocity Ellipsoid, Galactic Rotation, and the Dimensions of the Stellar System*



MADDENİN YAVAŞ İMHA SÜRECİ

YILDIZLARDA NÜKLEER FÜZYON

KISACA

ASTRONOM
Arthur Eddington
(1882–1944)

ÖNCE
1890'lar Briton Lord Kelvin ve Alman Hermann von Helmholz, Güneş'in enerjisini büzülerek elde ettiğini öne sürer.

1896 Fizikçi Henri Becquerel radyoaktiviteyi keşfeder.

1906 Karl Schwarzschild, enerjinin ışınımla bir yıldızda yolculuk yapabildiğini gösterir.

SONRA
1931 Robert Atkinson, protonların birleşip enerji salma ve yeni elementler yapma sürecini ortaya koyar.

1938 Alman fizikçi Carl von Weizsacker, protonların, yıldızlarda karbon-nitrojen-oksijen (KNO) döngüsüyle birleşip helyuma dönüşebildiğini keşfeder.

1939 Hans Bethe, proton-proton zinciri ve KNO döngüsü süreçlerinin nasıl işlediğini ayrıntılandırır.

Güneş, büyük ölçüde **hidrojen gazından** oluşur.

↓

Güneş'in merkezi **sıcak** ve **yoğundur.**

↓

Koşullar **nükleer füzyona, kütlenin** $E=mc^2$ denklemine uygun olarak yavaşça **enerjiye** dönüşme sürecine uygundur.

↓

Yıldızlar yakıtlarını, maddenin yavaş bir imha sürecinden alır.

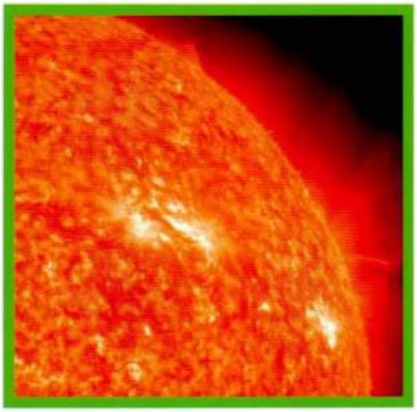
1920'lerde Britanyalı astronom Arthur Eddington, yıldızların içinde etkili olan süreçleri açıklayan ilk kişiydi. Yıldızların enerji kaynağının nükleer füzyon olduğu düşüncesini savunuyordu.

İstikrarlı bir Güneş

Dünya'dan Güneş'e bakıldığında fiilen görülebilen, sıcaklığı yaklaşık 5500 °C olan 500 kilometrelik gazlı üst tabakadır. Güneş dengede gibi görünüyor, yani astronomların gözlem yaptığı yüzyıllar boyunca (Güneş'in yaşamında çok küçük bir zaman) aynı büyüklükte görünmüş ve aynı aydınlatma gücünü sergilemiştir. Eddington, içeriye doğru çeken kütleçekim kuvvetinin yalnızca gazın dışarıya doğru genişleme eğilimiyle değil, yıldızdan boşalan ışınımın ürettiği basınçla da dengelendiğini anladı.

Eddington, bütün yıldızların devasa sıcak gaz topları olduğunu inandırıcı bir biçimde gösterebildi. Kütleleri farklı ısı saçan yıldızların, sıcaklığın ve yoğunluğun çok yüksek olduğu merkezlerindeki gazın, daha soğuk ve daha az yoğun gazla aynı fizik yasalarına uymaları durumunda nasıl görüneceklerini hesapladı. Elde ettiği yanıtlar, hem

Ayrıca bakınız: Görelilik teorisi 146-153 ▪ Yıldız bileşimi 162-63 ▪ Enerji üretimi 182-83 ▪ Nükleosentez 198-99



Bütün gazlar aynı yasalara uydukları için, Güneş'in yalnızca yüzeyinin değil tamamının gaz olduğunu varsaymak, merkezdeki sıcaklığın ve basıncın hesaplanmasına olanak verir.

dev hem de cüce yıldız gözlemlerine uyuyordu.

Gaz yasaları ve görelilik

Bir gazın basıncı, hacmi ve sıcaklığı arasındaki ilişkileri yöneten fizik yasaları, çok iyi biliniyordu. Hepsinin molekülleri aralıklı olduğu için, gazlar benzer biçimde davranır –örneğin Boyle yasasına (İrlandalı kimyacı Robert Boyle'un formüle ettiği) göre, sabit bir ısıda verili bir gaz kütlesinin basıncının ve hacminin çarpımı sabittir. Eddington bu yasaları kullanıp, Güneş'in merkezindeki sıcaklığın, suyun 150 katı bir yoğunlukla yaklaşık 16.000.000 °C olduğunu hesapladı.

Güneş'in merkezinde ne olduğunu anlamak için Eddington'ın, Einstein'ın $E=mc^2$ denklemine (s. 149-50) ihtiyacı vardı. Bu denklem, enerjinin, ışık hızının karesinin kütleyle çarpımına eşit olduğunu ifade eder. Kütlenin enerjiye nasıl dönüşebildiğini gösterdiği için, Güneş enerjisinin kaynağının sırrını açacak anahtardı. Güneş'in merkezindeki koşullar, nükleer reaksiyonların gerçekleşip kütlenin yok olmasına ve böylece Einstein'ın denkleminin öngördüğü enerjinin üretilmesine yetecek kadar sıcak ve yoğundu.

Başlangıçta fizikçiler, elektronların ya da hidrojen atomlarının, Einstein'ın denklemine giren kütle olabileceğini öne sürdüler. 1931'de Gallerli astrofizikçi Robert Atkinson, dört hidrojen atomunun kaynaşıp biraz daha az kütleli bir helyum atomuna dönüşme sürecinin, Güneş'ten gelen verilere uyduğunu gösterdi. Bu süreç çok yavaştır ve milyarlarca yıl Güneş'e yakıt sağlayacak enerjiyi üretir. Bu da, Evren'in bileşiminin zamanla değiştiğini gösteren element dönüşümünün bir kanıtıydı. ■

> Çok uzak olmayan bir gelecekte, yıldız kadar basit bir şeyi anlayabileceğimizi ummak, sağlıklı bir yargıdır.
> **Arthur Eddington**

Arthur Eddington



Arthur Eddington Hıristiyan topluluğuna üye bir ailede dünyaya geldi ve Manchester ve Cambridge Üniversitelerinde matematik ve fizik eğitimi aldı. 1905'te Greenwich Kraliyet Gözlemevine girdi ama birkaç yıl sonra, Cambridge'de Trinity College'e dönüp 1913'te profesör ve 1914'te Cambridge Üniversitesi Gözlemevinin müdürü oldu. Ömrünün geri kalan kısmını orada geçirdi.

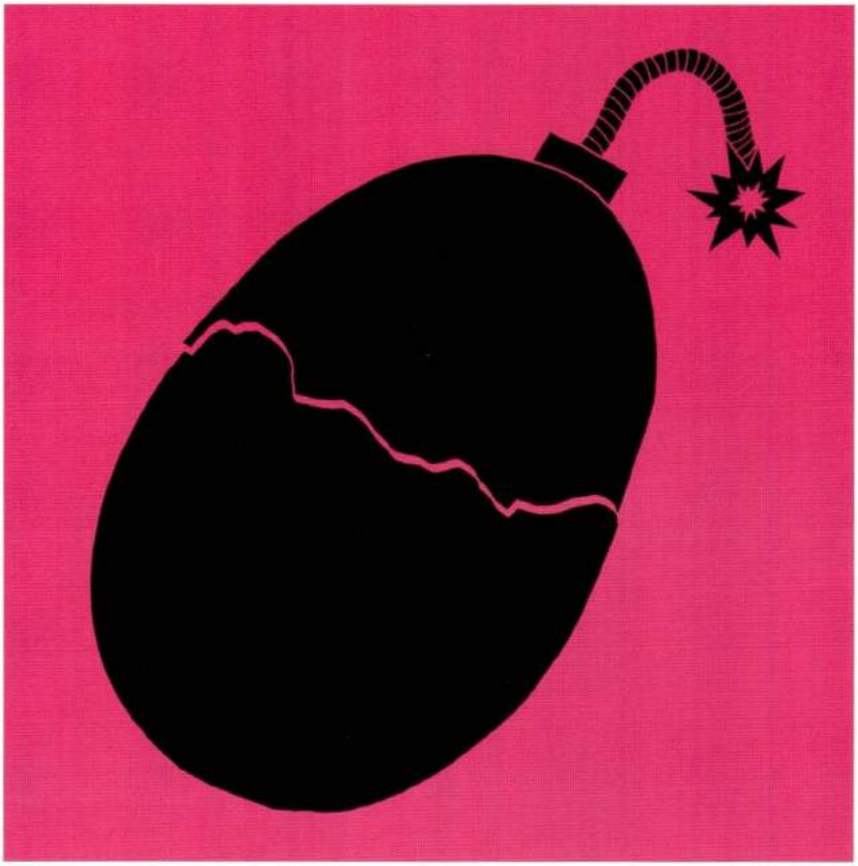
1919 Eddington bir tam Güneş tutulmasını gözlemlemek ve Einstein'ın yıldız ışığının bükülmesiyle ilgili öngörüsünü Güneş'le test etmek için Batı Afrika'da Principe Adasına gitti. Zeki bir astronom ve matematikçiydi; en zor fizik düşüncelerini basit ve zarif bir dille iletebiliyordu. Bu durum kitaplarını, özellikle görelilik ve kuantum mekaniğiyle ilgili açıklamalarını son derce popülerleştirdi.

Önemli eserleri

1923 *The Mathematical Theory of Relativity*
1926 *The Internal Constitution of the Stars*

DÜNÜ OLMAYAN BİR GÜN

EVREN'İN DOĞUŞU



KISACA

ASTRONOM
Georges Lemaître
(1894–1966)

ÖNCE
1915 Albert Einstein, değişik olası Evren'leri tanımlayan denklemleri içeren genel görelilik teorisini yayınlar.

1922 Alexander Friedman Einstein'ın denklemlerine, Evren'in genişliyor, daralıyor ya da durağan olabildiğini gösteren çözümler bulur.

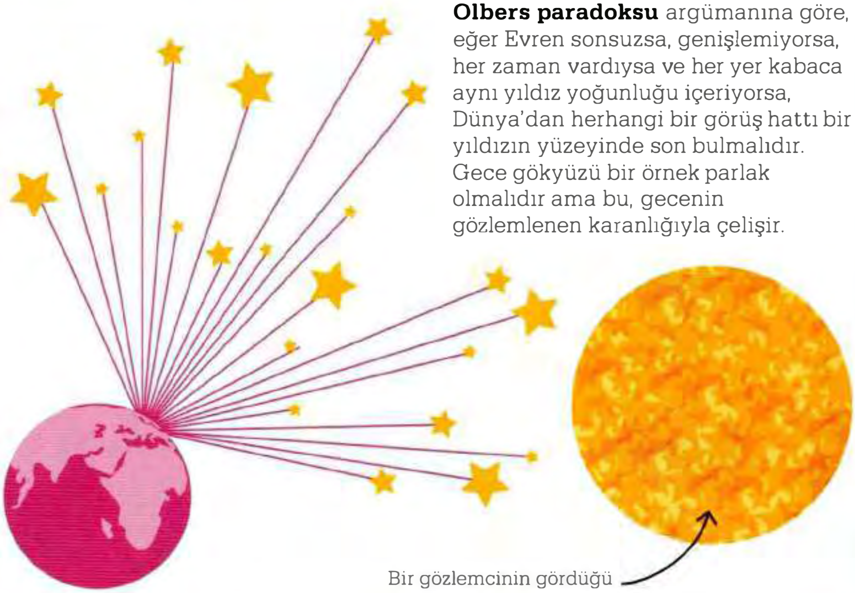
SONRA
1929 Edwin Hubble uzak galaksilerin, uzaklıklarıyla orantılı bir hızla Dünya'dan uzaklaştıklarını gözlemler.

1949 Fred Hayle, Lemaître'in teorisi için "Büyük Patlama" terimini ortaya atar.

Evren'in yumurta şeklinde küçük bir nesneden çıktığı düşüncesi, MÖ 12. yüzyıldan kalan Hindu ilahi derlemesi *Rigveda*'da yer alır. Ne var ki, Albert Einstein 1915'te genel görelilik teorisiyle yeni bir zaman ve uzay kavrayışı sunana kadar Evren'in gerçek kökenine ilişkin çok az bilimsel ipucu vardı. Einstein'ın içgörüsü birçok kişinin, Evren'in küçükten başladığı düşüncesini yeniden değerlendirmesine yol açtı; bu kişilerin arasında yer alan Belçikalı rahip Georges Lemaître'in 1931'deki önerisi, *Rigveda*'nın yankılarını taşıyordu.

17. yüzyılda, gece gökyüzünün karanlık olduğunu gözlemleyen Johannes Kepler, Evren'in hem zaman

Ayrıca bakınız: Kütleçekim teorisi 66-73 ▪ Görelilik teorisi 146-53
Sarmal galaksiler 256-61 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172-77 ▪ İlkel atom 196-97



Olbers paradoksu argümanına göre, eğer Evren sonsuzsa, genişlemiyorsa, her zaman vardıysa ve her yer kabaca aynı yıldız yoğunluğu içeriyorsa, Dünya'dan herhangi bir görüş hattı bir yıldızın yüzeyinde son bulmalıdır. Gece gökyüzü bir örnek parlak olmalıdır ama bu, gecenin gözlemlenen karanlığıyla çelişir.

hem de uzay bakımından sonsuz olamayacağını, aksi takdirde her yönden ışık saçan yıldızların bütün gökyüzünü parlak yapacağını savundu. Argümanı 1823'te Alman astronom Wilhelm Olbers tarafından yeniden test edildi ve Olbers paradoksu olarak anıldı. Bu soruna rağmen Isaac Newton, Evren'in durağan (büyümediği ya da küçülmediği), zaman ve uzay bakımından sonsuz olduğunu, maddesinin büyük bir ölçekte dağıldığını ifade etti. 19. yüzyılın sonunda egemen görüş buydu ve Einstein da bu görüşü başlangıçta savundu.

Değişmeyen bir Evren mi?

Einstein'ın genel görelilik teorisi, kütleçekimin çok büyük ölçeklerde nasıl etkili olduğunu açıklıyor. Newtoncu Evren modelinin istikrarsızlaşmadan uzun süre var olup olamayacağını test etmek ve başka hangi Evren tiplerinin yaşanabilir olduğunu araştırmak için bu teorinin kullanılabileceğini anladı. Kütle, uzay ve zaman arasındaki tam ilişki, 10 karmaşık denklemle açıklandı. Bunlara, Einstein'ın alan denklemleri denildi. Einstein, Evren'in daralmakta olduğunu öne süren denklemlerine bir ilk çözüm buldu. Buna inanamadığı için, içeriye doğru kütleçekimini dengelemek için bir "düzeltme" –kozmolojik sabit denilen genişleme-tetikleyen faktör– öne sürdü. Bu, durağan bir Evren'e olanak veriyordu.

1922'de Rus matematikçi Alexander Friedmann, Einstein'ın alan denklemlerine çözüm bulmaya kalkıştı. Evren'in homojen (her yerde aşağı yukarı aynı malzemeden oluşmuş) olduğu ve her yöne eşit yayıldığı varsayımıyla başlayarak, birkaç çözüm buldu. Bu çözümler, Evren'in genişliyor, daralıyor ya da durağan olabildiği modellere olanak veriyordu. Olasılıkla Friedmann, "genişleyen Evren" ifadesini kullanan ilk kişiydi. Einstein onun çalışmalarına ilk önce "kuşkulu" dedi ama altı ay sonra, vardığı sonuçların doğru ol-



Georges Lemaître

Georges Lemaître 1894'te Belçika'da, Charleroi'de doğdu. I. Dünya Savaşındaki üstün hizmetlerinden sonra, 1920'de inşaat mühendisliği alanında doktora derecesiyle ödüllendirildi. Sonra bir ruhban okuluna girdi ve orada boş zamanlarında matematik ve bilim okudu.

1923'te papazlığa atandıktan sonra Lemaître, Cambridge Üniversitesinde Arthur Eddington'dan Güneş fiziği ve matematik dersleri aldı. 1927'de Belçika'da, Leuven Üniversitesinde astrofizik profesörü oldu ve genişleyen Evren üzerine ilk önemli makalesini yayımladı. 1931'de Lemaître, *Nature* dergisinde ilkel atom teorisini öne sürdü ve ünü kısa sürede yayıldı. 1966'da, Büyük Patlamanın kanıtını sağlayan kozmik mikrodalga ardalan ışımasının keşfini öğrendikten kısa süre sonra öldü.

Önemli eserleri

1931 *The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory*
1946 *The Primeval Atom Hypothesis*



duğunu kabul etti. Ne var ki, Friedmann iki yıl sonra öldüğü için, bu onun son katkısı oldu. 1924'te Edwin Hubble, birçok bulutsunun Samanyolu dışında galaksi olduklarını gösterdi. Evren aniden epey büyümüştü.

Genişleyen Evren

1920'lerin sonunda Lemaître, büyük ölçekli Evren düzeniyle ilgili tartışmaya girdi. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki kurumlarda çalışmıştı; Vesto Slipher'ın uzaklaşan galaksilerle ilgili çalışmalarından ve Hubble'ın galaksi uzaklıklarına ilişkin ölçümlerinden haberdardı. Yetkin bir matematikçi olarak, Einstein'ın alan denklemlerini de incelemiş ve genişleyen bir Evren'e olanak veren denklemlere olası bir çözüm bulmuştu. 1927'de bu parçaları bir araya toplayan Lemaître, bütün Evren'in genişlemekte olduğunu ve galaksileri birbirinden ve Dünya'dan uzaklaştırdığını öneren bir makale yayımmladı. Bizden daha uzak olan galaksilerin, daha yakın olanlardan daha hızlı uzaklaştıklarının bulunacağını da öngördü.

Lemaître'in makalesi pek bilinmeyen bir Belçika dergisinde yayımlandı ve sonuç olarak, varsayımı o sırada fazla dikkat çekemedi. Bununla birlikte, bulgularını Einstein'a da iletip, genişleyen bir Evren'e olanak veren alan denklemlerine bulduğu çözümü anlattı. Einstein, Lemaître'i Friedmann'ın çalışmalarıyla tanıştırdı ama Lemaître'in düşüncesiyle ilgili ikircikte kaldı. Einstein'ın şöyle dediği söylenir: "Hesaplamalarınız doğru ama fizik kavrayışınız berbat." Ne var ki, Britanyalı astronom Arthur Eddington, Lemaître'in 1927 makalesi üzerine uzun bir yorum yayımlayıp, "parlak bir çözüm" olarak niteledi.

1929'da Hubble, bir galaksinin uzaklığı ile uzaklaşma hızı arasında gerçekten bir ilişki olduğunu gösteren bulgularını yayımlayıp, Evren'in genişlediğini ve Lemaître'in makalesinin doğru olduğunu birçok astronom için doğruladı. Evren'in genişlediğinin keşfi, yıllarca Hubble'a ait sayıldı; ama bugün pek çok kişi, Lemaître'in ve olasılıkla Alexander Friedmann'ın da payı olduğunu kabul etmektedir.

İlkel atom

Lemaître'in muhakemesine göre, eğer Evren genişliyorsa ve zamanda geriye doğru gidilirse, çok eskiden Evren'deki tüm cisimler birbirine çok yakın olmuş olmalı. 1931'de Evren'in başlangıçta, bütün maddesini ve enerjisini içeren, son derece yoğun tek bir parçacık –kendi ifadesiyle, Güneş'ten yaklaşık 30 kat büyük bir "ilkel atom"– olduğunu öne sürdü. Bu atom, "dünü olmayan bir günde" bir patlamayla dağılıp uzaya ve zamana yol açtı. Lemaître, Evren'in başlangıcını bir havaifişek patlaması olarak tarif etti; galaksileri, patlamanın merkezinde dışarıya saçılan közlere benzetti.

Öneri başlangıçta kuşkuyla karşılandı. Einstein da öneriye kuşkuyla baktı ama tamamen göz ardı da etmedi. Ocak 1933'de Lemaître ve

> Uzayın yarıçapı sıfırda başladı ve genişlemenin ilk evreleri, ilk atomun kütlesince belirlenen hızlı bir genişlemeden ibaretti.
>
> **Georges Lemaître**

Einstein, bir dizi seminer için birlikte California'ya gitti. Einstein (artık ihtiyaç kalmadığı için kozmolojik sabiti genel görelilik teorisinden çıkarmıştı) o sırada Lemaître'in teorisini kabul etti ve "şimdiye kadar dinlediğim en güzel ve en doyurucu yaratılış açıklaması" dedi.

Lemaître'in modeli, Olbers paradoksu sorununa da bir çözüm getiriyordu. Modelinde Evren'in sonlu bir yaşı vardır ve ışığın hızı da sonlu olduğu için, Dünya'dan görünür uzayın verili hacmi içinde yalnızca sonlu sayıda yıldız gözlemlenebilir. Bu hacim içindeki yıldız yoğunluğu, Dünya'dan herhangi bir görüş hattının bir yıldıza ulaşması olanaklı olmayacak kadar düşüktür.

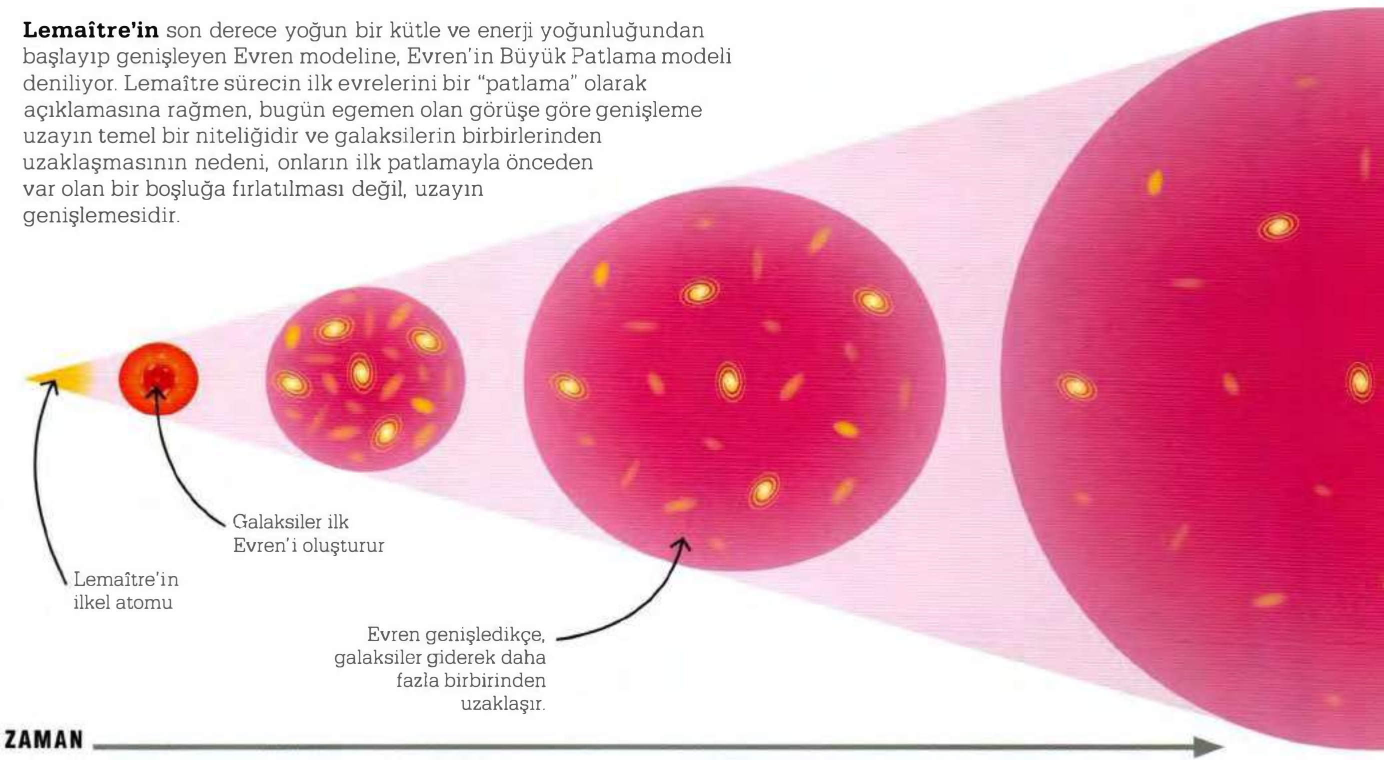
Düşünceyi arıtma

Küçük bin noktaya sıkışan Evren aşırı sıcak olurdu. 1940'larda Rus kökenli Amerikalı fizikçi George Gamow ve meslektaşları, Lemaître-tarzı bir Evren'in aşırı sıcak ilk birkaç saniyesinde neler olmuş olabileceğinin ayrıntılarını ortaya çıkardı. Yaptıkları çalışma, evrime uğrayıp bugün gözlemlenene dönüşen ilk sıcak Evren'in teorik olarak olanaklı olduğunu gösterdi. Britanyalı astronom Fred Hoyle, 1949'da bir radyo söyleşisinde, Lemaître ve Gamow'un geliştirdiği Evren modeli için "Büyük Patlama" terimini uydurdu. Lemaître'in varsayımının artık bir adı vardı.

Lemaître'in Evren'in ilk büyüklüğüyle ilgili düşüncesi, şimdi doğru bulunmuyor. Bugün kozmologlar, tekillik denilen sonsuz yoğunlukta son derece küçük bir noktadan başladığına inanıyorlar. ■

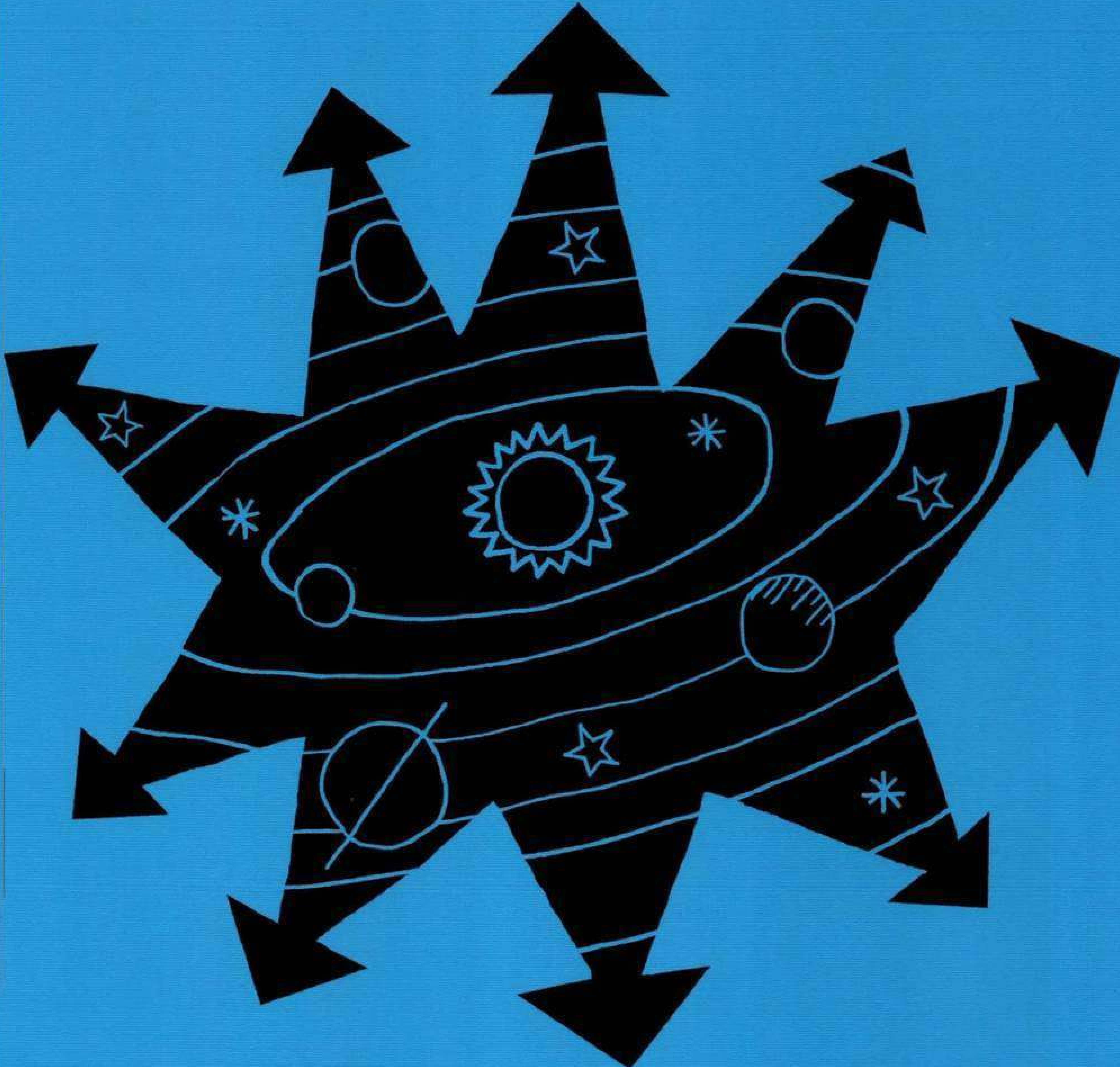
> Büyük Patlama ile Hıristiyanlığın hiçlikten yaratılış fikri arasında bir paralellik vardır.
> **George Smoot**

Lemaître'in son derece yoğun bir kütle ve enerji yoğunluğundan başlayıp genişleyen Evren modeline, Evren'in Büyük Patlama modeli deniliyor. Lemaître sürecin ilk evrelerini bir "patlama" olarak açıklamasına rağmen, bugün egemen olan görüşe göre genişleme uzayın temel bir niteliğidir ve galaksilerin birbirlerinden uzaklaşmasının nedeni, onların ilk patlamayla önceden var olan bir boşluğa fırlatılması değil, uzayın genişlemesidir.



EVREN BÜTÜN YÖNLERDE GENİŞLİYOR

SAMANYOLU'NUN ÖTESİ



KISACA

ASTRONOM
Edwin Hubble (1889–1953)

ÖNCE
1907 Henrietta Swan Leavitt, Sefeit yıldızların periyodu ile aydınlatma gücü arasındaki bağı gösterir.

1917 Vesto Slipher, 25 galaktik kızıla kaymanın bir tablosunu yayımlar.

1924 Hubble, Andromeda galaksisinin Samanyolu'nun epeyce dışında olduğunu gösterir.

1927 Georges Lemaître, Evren'in genişliyor olabileceğini öne sürer.

SONRA
1998 Süpernova Kozmoloji Projesi ve Yüksek-Z Süpernova Araştırma Ekibi, kozmos genişlemesinin ivme kazandığını kanıtlar.

2001 Hubble Uzay Projesi, Hubble Sabitini (H_0) yüzde 10 oranında ölçer.

2015 Planck Uzay Gözlemevi, Evren'in yaşını 13,799 milyar yıl olarak belirler.

1920'lerin başında Amerikalı astronom Edwin Hubble, Evren'in gerçek büyüklüğüne ilişkin kanıtları sundu. California'da, Pasadena'ya yakın Wilson Dağı Gözlemevinde çalışan Hubble, o sırada yeni kurulan ve Dünya'nın en büyük teleskobu olan 2,5 metrelik Hooker Teleskobunu kullanıp, astronomide şiddetlenen en büyük tartışmayı çözdü. Yaptığı gözlemler, yalnızca Evren'in daha önce sanılandan çok çok daha büyük olduğunu değil, aynı zamanda genişlemekte olduğunu da gösterecekti.

> Gözlemler, Evren'in giderek artan bir oranda genişlemekte olduğunu gösteriyor. Sonsuza kadar genişleyecek, daha boş ve daha karanlık olacak.
> **Stephen Hawking**

Büyük Tartışmayı çözmek

O sırada, sarmal bulutsuların Samanyolu'nun ötesinde galaksi mi yoksa özel bir bulutsu türü mü oldukları sorusu, bir "Büyük Tartışma" konusuydu. 1920'de sorunu halletmek için Washington'da Smithsonian Müzesinde bir toplantı yapıldı. Princeton astronomu Harlow Shapley "küçük Evren"den yanaydı; Samanyolu'nun bütün Evren'i kapsadığını savunuyordu. Shapley, sarmal bulutsuların döndüğüne ilişkin raporları kanıt olarak gösteriyor, bundan hareketle küçük olmaları gerektiğini, aksi takdirde dış bölgelerin ışık hızından daha hızlı döneceği sonucunu çıkarıyordu (bu raporların yanlış olduğu daha sonra gösterildi). Her bulutsunun Samanyolu'nun çok ötesinde olduğu düşüncesini destekleyen Heber D. Curtis, Shapley'e karşıydı. Curtis, pek çok sarmal bulutsudan gelen ışığın elektromanyetik tayfın kırmızı tarafına kaydığını, Dünya'dan çok hızlı –Samanyolu içinde tutulamayacak kadar hızlı– uzaklaştıklarını gösteren Vesto Slipher'ın keşfini kanıt olarak sundu.

Hubble, sarmal bulutsuların uzaklıkları ile hızları arasında bir ilişki olup olmadığını görmeye kal-

Edwin Hubble



1889'da Missouri'de doğan Edwin Hubble gençliğinde yetenekli bir sporcuydu, Chicago Üneversitesinin basketbol takımının kaptanıydı. Fen bilimleri diplomasıyla mezun olduktan sonra Oxford Üniversitesinde hukuk okudu. İngiltere'den şapkalı dönen ve bir aristokrat gibi davranan Hubble, Harlow Shapley tarafından "saçma bir biçimde beyhude ve süslü" olarak nitelendi.

Kendi tanıtımını yapma yeteneğine rağmen, Hubble ihtiyatlı bir bilim insanıydı. Kendisini bir gözlemci olarak niteliyordu ve yeterli kanıtlara sahip oluncaya kadar yargısını belli etmezdi. Birisi onun araştırma alanını ihlal ettiğinde çok öfkelenirdi. Bu nedenle, ünlü yasasını formüle etmek için kullanılan 46 kızıla kaymanın 41'inin onun tarafından değil, Vesto Slipher tarafından ölçüldüğünü açıklamaması, Hubble'ın bir ayıbıdır. Hubble son yıllarını astronomi alanında bir Nobel Ödülü verilmesi için kampanya yürütmekle geçirdi. 1953'te öldü.

Önemli eserleri

1929 *A relationship between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*

Ayrıca bakınız: Evren'i ölçmek 130-37 ▪ Görelilik teorisi 146-53 ▪ Sarmal galaksiler 156-61 ▪ Evren'in doğuşu 168-71 ▪ Uzay teleskopları 188-95 ▪ Curdis (Rehber) 337 ▪ Arp (Rehber) 339



Burada Hubble, Wilson Dağında Hooker Teleskobunun merceğinden bakıyor. Galaksi uzaklıklarını ve Evren'in genişleme değerini burada ölçtü.

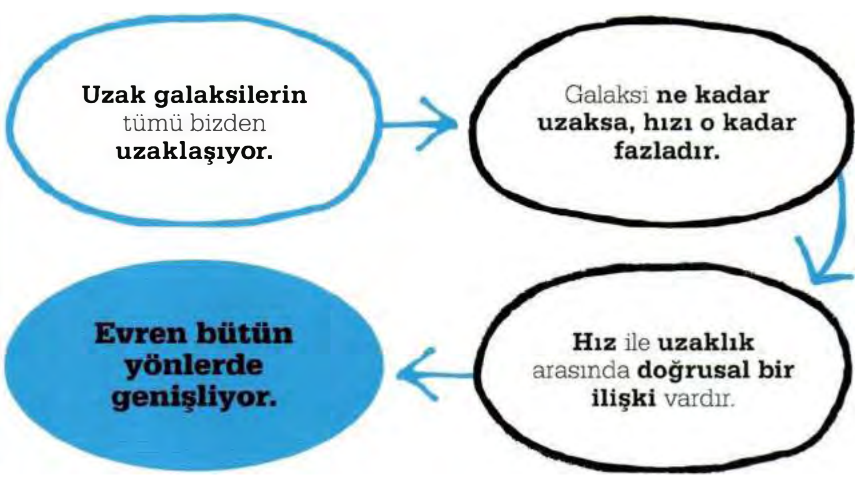
kıştı. Stratejisi, bulutsuların içinde Sefeit değişken yıldızlar –aydınlatma güçleri öngörülebilir şekilde değişen yıldızlar– aramak ve Dünya'dan uzaklıklarını ölçmekti. Bu çalışma, 1923 kışında Hubble'a ilk büyük keşfini kazandırdı.

En yakın ve en net bulutsuların fotoğraf plakalarıyla işe başlayan Hubble, incelediği ilk plakaların birinde bir Sefeit değişken saptadı. Görece yakın bulutsular için hesapladığı uzaklıklar o kadar büyüktü ki, Büyük Tartışmayı anında sona erdi: NGC 6822, 700.000 ışık yılı, M33 ve M31 ise 850.000 ışık yılı uzaktaydı. Evren'in, Samanyolu'nun ötesine uzandığı açıktı. Tıpkı Curtis'in savunduğu gibi, sarmal bulutsular "ada Evren" ya da Hubble'ın ifadesiyle "galaksi-dışı bulutsu"ydu. Zamanla "sarmal bulutsular" terimi kullanılmaz oldu ve şimdi basitçe galaksi deniliyor.

Bulutsular alanında

Hubble, Samanyolu'nun ötesindeki galaksilerin uzaklıklarını ölçme programını kararlılıkla sürdürdü. Ne var ki, daha ötede, soluk ve puslu galaksilerde bireysel Sefeit değişken ortaya çıkarmak olanaksızlaştı. "Standart cetvel" varsayımı gibi dolaylı yöntemlere başvurmak zorunda kaldı: Benzer bir tipin bütün galaksilerinin aynı büyüklükte oldukları düşüncesi, bir galaksinin görünür büyüklüğünü ölçüp umulan "gerçek" büyüklüğüyle karşılaştırarak o galaksiye uzaklığı tahmin etmesine olanak vermekteydi. Hubble, Slipher'ın ölçümleri sayesinde, pek çok sarmal bulutsudan gelen ışığın kızıla kaydığını zaten biliyordu. Ayrıca daha soluk sarmalların, uzayda daha hızlı hareket ettiklerini gösteren daha yüksek kızıla kayma değerleri vardı. Hubble, bir galaksinin Dünya'dan uzaklığı ile uzaklaşma hızı arasında gerçekten bir ilişki varsa, bu kızıla kaymaların, en uzak ve en soluk galaksilerin uzaklıklarını hesaplamayı olanaklı kılan kozmik bir ölçü ve bir bütün olarak Evren'in büyüklüğü konusunda tahmini bir rakam işlevi göreceğini anladı. Bu arada, Wilson Dağında asistan astronom olan Milton Humason, Slipher'ın kızıla kaymalarını kontrol etti ve uzak galaksilerden yeni tayflar topladı. Zorlu ve yorucu bir işti; Hubble'la birlikte, California'da Wilson Dağında tüp teleskobun tepesindeki gözlemci kafesinde soğuk geceler geçirdi.

Hubble'ın çığır açan makalesi "Galaksi-dışı bulutsularda ışınsal hız ile uzaklık arasında bir ilişki," 1929'da *Proceedings of the National Academy of Science* adlı bir dergide yayımlandı. Makalede, yakından uzağa 46 galaksiyi kızıla kaymalarına göre gösteren bir düz-çizgi grafiği vardı. Hatırı sayılır bir dağılma olmasına rağmen, Hubble düz bir çizgiyi çoğunluğa uydurabildi. Grafik, Samanyolu'nu ihlal eden en yakın galaksiler Andromeda ve Triangulum hariç, diğer bütün galaksiler uzaklaşıyordu. Da-



ması, uzaklaştıkça hareketleri hızlanıyordu.

Bir yoruma doğru

Evren'in içinde Dünya'nın perspektifinden bütün galaksilerin uçarak kaçtığı görülüyorsa, potansiyel açıklamalar şöyle olur: (a) Dünya Evren'in merkezindedir ya da (b) Evren tek bir noktada başladı ve bir bütün olarak genişliyor.

Nesnellik –bilimde bir tür temel yasa– şunu gerektirir: Dünya'nın eşsiz bir konum işgal ettiğini varsaymak için hiçbir neden yoktur. Uzak bulutsulardan gelen ışık, Evren'in durağan olmadığını gösterdi. Birçok astronom, bu durumun Evren'in genişlemesinden kaynaklandığı sonucuna çabucak ulaştı ama Hubble, hiçbir zaman bunu açıkça ifade etmedi.

Aslında Vesto Slipher, Hubble gözlemlerini yapmadan dört yıl önce, 1919'da eğilimi göstermişti ve Georges Lemaître 1927'de, Evren'in "ilkel bir atomdan" genişlediğini öne sürmüştü. Ne var ki, Hubble'ın vardığı sonuç, kızıla kayma-ölçülü hızlar ile uzaklık arasında basit bir bağ ve bununla birlikte, bilim topluluğunun ihtiyaç duyduğu inandırıcı kanıtı sunmaktaydı. Galaksilerin kızıla kaymasının Dünya'dan uzaklıklarıyla orantılı olduğunu söyleyen "Hubble yasası" neredeyse oybirliğiyle kabul edildi.

> Beş duyuyla donatılan insan etrafındaki Evren'i araştırıyor ve bu maceraya "Bilim" diyor.
> **Edwin Hubble**

Einstein'ın gafı

Everenin genişliyor olabileceğinin ortaya çıkması, bütün dünyada haber oldu –özellikle Albert Einstein'ın bir teorisiyle çeliştiği. Einstein, kütleçekiminin sonunda Evren'in kendi ağırlığı altında çökmesine neden olacağını gördü; bu yüzden, bunun gerçekleşmesini önlemek için genel göreliliğin alan denklemlerinde kozmolojik sabit denilen bir değer –bir tür negatif basınç– kullandı. Hubble'ın keşfinden sonra bu düşünceyi bıraktı.

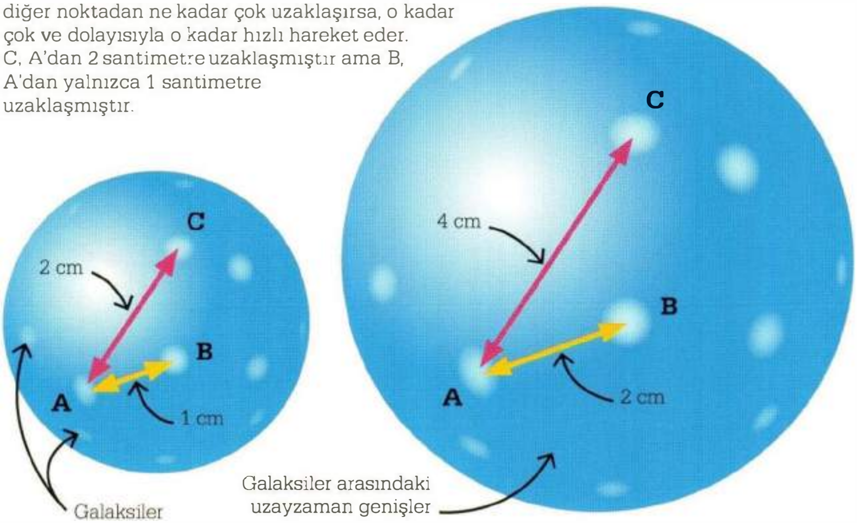
Einstein ve diğerleri, gözlemlenen hızların, galaksilerin uzaklaşma hızının neden olduğu Doppler etkileri olduğunu varsaydılar; ama muhalif sesler de vardı. İsviçreli astronom Fritz Zwicky, kızıla kaymanın Dünya'ya ulaşan "yorgun ışık"tan –protonların aradaki maddeyle etkileşiminin neden olduğu– kaynaklanabileceğini öne sürdü. Hubble, kızıla kaymaların gösterdiği hızların gerçek olduğuna inanmayı zor buldu ve bunları yalnızca uzaklık işareti olarak kullanmaktan mutluydu. Aslında, Hubble'ın gözlemlediği galaksi hızları, bizzat uzayzamanın genişlemesinden kaynaklanır.

K-faktörü

Hubble uzayzamanın ne kadar hızlı genişlediğini bir grafikle –"K-faktörü" dediği– gösterdi. Düşüm, matematiksel olarak şimdi Hubble Sabiti (H_0) olarak bilinen bir değerle açıklanır. Bu önemli sayı, gözlemlenebilir Evren'in yalnızca büyüklüğünü değil, yaşını da belirler. Hubble Sabiti astronomların geriye doğru gidip, Büyük Patlama sırasında Evren'in yarıçapının sıfır olduğu anı hesaplamalarına olarak verdi.

İlk H_0 tahmini, bir parsek (bir parsek yaklaşık olarak 3,26 milyon ışık yılıdır) başına saniyede 500 kilometreydi. Bu, sorun yaratmaktaydı; çünkü Evren'in yaşı için 2 milyar yıl, Dünya'nın kabul edilen yaşının yarısından az bir rakam vermekteydi. Tutarsızlığın, Hubble'ın uzaklık ölçümlerindeki sistematik hatalardan kaynaklandığı anlaşıldı.

Burada Evren'in galaksileri, şişen bir balonun üzerindeki noktalar olarak hayal ediliyor (görselleştirmek için, boyutlar uzayın üç boyutundan balonun yüzeyinin iki boyutuna indirilmiştir). Balonun çapı iki katına çıkınca, noktaların arasındaki uzaklık da iki katına çıkar. Bir nokta diğer noktadan ne kadar çok uzaklaşırsa, o kadar çok ve dolayısıyla o kadar hızlı hareket eder. C, A'dan 2 santimetre uzaklaşmıştır ama B, A'dan yalnızca 1 santimetre uzaklaşmıştır.



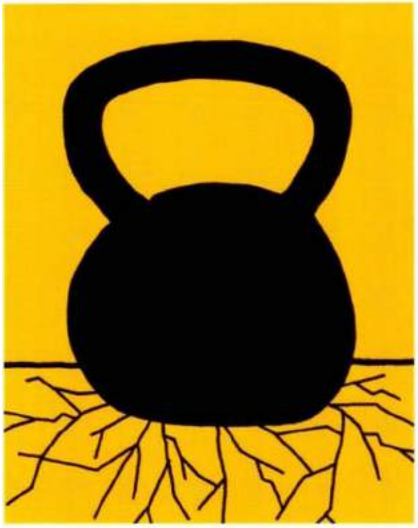


Bir galaksideki en parlak yıldızı – hatta bizzat galaksinin aydınlatma gücünü– alıp, Sefeit bir değişken yıldız olduğunu varsayma yönteminden ötürü birçok ölçüm yedi kat bir sapma gösteriyordu. Hubble'ın şansına, veri kümesi boyunca yanlışlar oldukça tutarlıydı ve bu durum, yanlışlara rağmen eğilimi ortaya koymasına olanak verdi.

Hubble Anahtarı Projesi

1970'lerde başlanıp 1990'da fırlatılana kadar Hubble Uzay Teleskobunu geliştirme kararının arkasında, kozmosun genişleme hızını hesaplamak vardı. NASA, teleskobun Hubble Sabitini yüzde 10 dahilinde belirleyen "Anahtar Projeleri"nden birini yaptı. Sonuç olarak, alet yıllarca Sefeit ışık eğrilerini ölçtü. 2001'de açıklanan son sonuç, Evren'in yaşını 13,7 milyar yıl olarak verdi. Bu rakam, 2015'te Planck Uzay Gözlemevinden alınan verilerle 13,799 milyar yıl olarak düzeltildi (öyle ya da böyle 21 milyon yıllık bir hata). Ne var ki, Hubble yasasında en dramatik düzeltme 1998'de, astronomlar Evren'in genişlemesinin kara enerji olarak bilinen gizemli ve meçhul bir failden ötürü ivme kazandığını keşfedince geldi; bu keşif, Einstein'ın gafı denilen kozmolojik sabite (s. 298-303) ilginin yeniden canlanmasına yol açtı. ■

Avrupa Uzay Ajansının (ESA) Planck Gözlemevi 2009 ile 2013 arasında çalıştı. Hubble Sabiti de dahil, birçok kozmolojik parametrenin ölçülmesine yardımcı olan veriler üretti.



BEYAZ CÜCELERİN MAKSİMUM BİR KÜTLESİ VARDIR

YILDIZLARIN YAŞAM DÖNGÜLERİ

KISACA

ASTRONOMLAR
Subrahmanyan Chandrasekhar (1910–1995)

ÖNCE
1914 Walter Adams, alışılmadık ölçüde soluk bir beyaz yıldız olan 40 Eridani (Irmak) B'nin tayfını ayrıntılandırır.

1922 Hollandalı astronom Willem Luyten, düşük-kütleli beyaz yıldız kalıntıları için "beyaz cüce" terimini uydurur.

1925 Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli, iki elektronun aynı kuantum durumunda bulunamayacağını ifade eden Pauli Dışarlama İlkesini formüle eder. Bu, elektron yozlaşma basıncının tanınmasına yol açar.

SONRA
1937 Fritz Zwicky, tip 1a süpernovayı, Chandrasekhar sınırını aşan bir beyaz cücenin patlaması olarak niteler.

1972 Astronomlar, ilk kara delik adayını bulur.

1930'da, Hindistanlı genç öğrenci Subrahmanyan Chandrasekhar, Güneş'ten biraz daha büyük bir külteyle yaşamı sona eren bir yıldızın, kendi kütltekçekimine karşı koyamadığını hesapladı. Bu, yıldızların, özellikle de beyaz cüce denilen sönük, çok sıcak yıldızların yaşam döngülerini anlamanın anahtarıydı. Beyaz cücelerin çok yoğun oldukları ve atom çekirdeklerinden ve serbest elektronlardan oluşan "yoz" maddeden meydana geldikleri biliniyordu. Elektron yozlaşma basıncı olarak bilinen bir fenomen, beyaz cücelerin çökmesini önlüyordu. Yani, elektrolar birbirlerine çok yakın olunca hareketleri sınırlanıp, bir dış basınç yaratmaktaydı.

> Doğanın kara delikleri, Evren'de bulunan en kusursuz makroskobik nesnelerdir: Yapılarındaki biricik öğeler, bizi zaman ve uzay kavramlarımızdır..
> **Subrahmanyan Chandrasekhar**

Chandrasekhar sınırı

Chandrasekhar, elektron yozlaşma basıncının bir beyaz cücenin çökmesini, ancak beyaz cücenin kütlesi için bir üst sınıra kadar önleyebileceğini ve bu sınırın, Güneş'in kütlesinin yaklaşık 1,44 katı olduğunu ortaya çıkardı. Bugün, yaşamının sonunda bir dev yıldızın çekirdeğinin, eğer kütlesi Chandrasekhar sınırının altındaysa çöküp bir beyaz cüceye dönüşeceği ama kütlesi sınırı aşarsa, daha yoğun bir nesneye –bir nötron yıldızı ya da bir kara delik– dönüşeceği biliniyor. O sırada nötron yıldızları ve kara delikler hâlâ salt teori düzeyinde oldukları için, bu içgörü o zamanın bilim insanlarınca fazla önemsenmedi.■

Ayrıca bakınız: Beyaz cüceleri keşfetmek 141 ▪ Yıldızlarda nükleer füzyon 166-67 ▪ Süpernovalar 180-81



RADYO EVRENİ

RADYO-ASTRONOMİ

KISACA

ASTRONOM
Karl Jansky (1905–1950)

ÖNCE
1887 Alman fizikçi Heinrich Hertz, radyo dalgalarının varlığını tanıtlar.

1901 İtalyan mucit Guglielmo Marconi Atlantik'in karşısına bir radyo sinyali gönderir, farkında olmadan dalgaları iyonosfere sektirir.

SONRA
1937 Amerikalı amatör astronom Grote Reber, gökyüzünün ilk radyo incelemesini yapar.

1965 James Peebles, Evrensel ardalan mikrodalga radyo dalgalarının Büyük Patlamanın son kalıntısı olduğunu öne sürer.

1967 Antony Hewish ve Jocelyn Bell Burnell, tekrarlayan bir yıldız radyo sinyali, ilk pulsarı saptar.

1998 Yay A*'nın, Samanyolu'nun merkezinde süper-kütleli bir kara delik olduğu gösterilir.

1930'ların Amerika'sında Bell Telefon Laboratuvarlarında çalışan telefon mühendisi Karl Jansky'ye, uzun dalga radyo ses iletimine karışabilecek parazitin doğal kaynaklarını gösterme görevi veridi. Araştırmalarını yürütmek için Jansky, genişliği 30 ve yüksekliği 6 metre olan yöneltmeli bir radyo anteni yaptı. Mekanizma, eski bir Model T Ford arabanın enkazından alınan dört tekerlek üzerinde dönüyordu. Meslektaşları düzeneğe "Jansky'nin atlıkarıncası" dedi; çünkü genç mühendis, atmosferdeki radyo dalgalarının kaynaklarını belirlemek için anteni sistematik olarak döndürecekti.

Radyo-astronomi

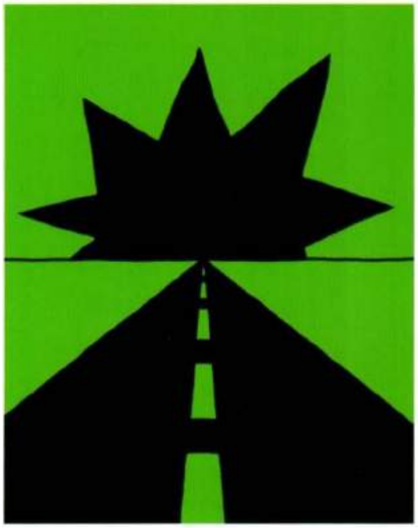
Jansky radyo dalgalarının pek çok kaynağını yaklaşan fırtınalarla eşleştirdi ama kaynağı saptanmadan kalan ısrarlı bir hışırtı vardı. Bu parazitin yoğunluğu, günde bir kez yükselip düşüyordu; Jansky başlangıçta, Güneş'ten gelen radyo dalgalarını saptadığını sandı. Ne var ki, radyo dalgalarının "en parlak" noktası gökyüzünde Güneş gününü değil, yıldız gününü izleyerek (yıldızlara göre) hareket ediyordu; Jansky, radyo dalgalarının Samanyolu'nun kalbinde, Yay takımyıldızından geldiğini anladı: Radyo dalgaları, tıpkı görünür bir ışık gibi uzaydan "parıldıyordu."



Jansky, el yapımı anteniyle birlikte. 1933'de çalışmalarıyla ilgili bir makale yayınladı ama hemen ardından, Bell Laboratuvarları tarafından başka bir işle görevlendirildi ve daha fazla astronomik çalışma yürütmedi.

Gazeteler, "dünya-dışı radyo"-nun keşfini haber yaptı ve çok geçmeden astronomlar Jansky'nin aletini –aslında ilk radyo teleskobunu– kopya etmeye başladı. Bu, Evren'e yeni bir açıdan –ışığından değil, radyo yayımından– bakma olanağını açtı. ■

Ayrıca bakınız: Büyük Patlama arayışı 222-27 ▪ Kuasarlar ve pulsarlar 236-39 ▪ Reber (Rehber) 338 ▪ Ryle (Rehber) 338-39



BİR NÖTRON YILDIZINA PATLAMALI GEÇİŞ

SÜPERNOVALAR

KISACA

ASTRONOMLAR
Walter Baade (1893–1960)
Fritz Zwicky (1898–1974)

ÖNCE
1914 Amerikalı astronom Walter Adams, şimdi sıradan novalarla ilişkili olduğu bilinen beyaz cüce yıldızları ilk kez tarif eder.

1931 Subrahmanyan Chandrasekhar, bir beyaz cücenin sahip olabileceği en büyük kütleyi hesaplar.

SONRA
1967 Antony Hewish ve Jocelyn Bell Burnell, hızlı dönen nötron yıldızı olduğu anlaşılan pulsarları keşfeder.

1999 Tip 1a süpernovalardan gelen ışıkla ilgili yapılan bir inceleme, Evren'in genişlemesinin, kara enerji olarak bilinen meçhul bir nicelikten ötürü ivme kazandığını gösterir.

MÖ 185'te Çinli astronomlar "misafir yıldız" dedikleri bir fenomen kaydettiler. Yıldız, Dünya'ya en yakın yıldız sistemi olan Alfa Centauri yönünde görünmüştü ve sekiz ay parladıktan sonra sönmüştü. Bu, olasılıkla ilk kaydedilen süpernovadır.

Yüzyıllar içinde gizemli yeni yıldızlar birkaç kez göründü. 1572'de Danimarkalı astronom Tycho Brahe, bunlardan birine "yeni" anlamına gelen nova adını verdi. Teleskopların gelişmesiyle birlikte, novalar daha yakından inceleme konusu oldu ve kısa süreliğine büyük bir yoğunlukla aydınlanan soluk yıldız oldukları anlaşıldı. 1930'larda California'da Caltech'te iki astronom, Walter Baade ve Fritz Zwicky, bazı novaların diğerlerinden çok daha fazla enerji saldığını hesapladı. Örneğin 1885'te görülen bir nova, S Andromedae, Güneş'in 10 milyon yıllık enerji çıktısının eşdeğerini bir defada salmıştı. Baade ve Zwicky, bu inanılmaz olaylara "süpernova" dedi.

Çekirdek çöküşü

1934'te Baade ve Zwicky bir süpernovanın, yakıtı bittikten sonra kendi kütleçekim altında çöken büyük bir yıldızın çekirdeği olduğunu öne sürdü. Çöküş o kadar güçlüydü ki, maddesini imha edip, Einstein'ın

Soluk yıldızlar kısa dönemler için daha parlak olup **novaları** oluşturabilirler.

→

Bazı novalar **diğerlerinden çok daha fazla enerji** salar.

↓

Bu **süpernovalardan** bazıları, kendi maddesini imha eden **bir yıldızın çöküşüyle** oluşur.

←

Çöken yıldızın **çekirdeği** ezilip, yalnızca nötron içeren malzemeden oluşan bir **nötron yıldızına** dönüşür.

Ayrıca bakınız: Tycho modeli 44-47 ▪ Kuasarlar ve pulsarlar 236-39 ▪ Kara madde 268-71 ▪ Kara enerji 298-303



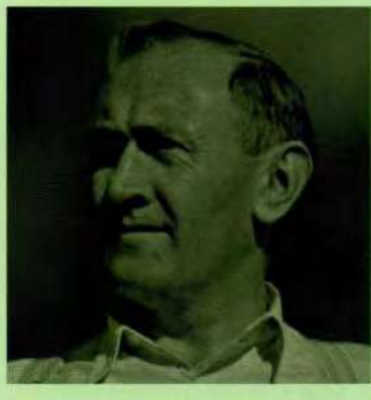
Büyük Macellan Bulutunda bir süpernovanın, Chandra X-ışını Uzay Gözlemevi tarafından çekilmiş fotoğrafı. Patlamaya kütleli bir yıldızın çökmesi neden olmuş.

$E=mc^2$ denklemine (s. 149) göre çok büyük miktarda enerji salıyordu. Geriye kalan bir nötron yıldızıydı – bir atom çekirdeğindeki parçacıklar gibi ama daha büyük bir ölçekte bir araya gelmiş nötronlardan oluşan bir cisim. Bir nötron yıldız yalnızca 11 kilometre kadardır; ama çok büyük bir yoğunluğu ve kütleçekim kuvveti vardır. Nötronlar, atom çekirdeğinde olduğundan daha yakın olabilirler; yani bir çay kaşığı nötron yıldızının ağırlığı 10 milyon ton olur. Yıldızın kurtulma hızı (kendi kütleçekiminden kurtulmak için gerekli hız), ışık hızının yaklaşık yarısıdır.

İlk tespit

Nötron yıldızı kavramı, 1967'de pulsarlar keşfedilene kadar salt farazi olarak kaldı. Pulsarların hızlı dönen nötron yıldızı oldukları kanıtlandı. 1979'da güçlü bir gama ışını patlaması saptandı. Bu, o günden beri bir "magnetar"a –Dünya'nınkinden milyarlarca kat büyük bir manyetik alanı bulunan bir tür nötron yıldızı– atfedilmektedir.

Çöken yıldızlarla ilgili hâlâ birçok sır vardır. Yalnızca 1,4 Güneş kütlesi olan Chandrasekhar sınırının (s. 178) üstündeki yıldızlar süpernova olup nötron yıldızları oluşturacaktır. 3 Güneş kütlesinin üstünde bir yıldız daha da ileri gidip bir kara delik olur; ama nötron maddesinin bozulup kuark parçacıklarına –nötronları ve protonları oluşturan parçacıklar– dönüştüğü bir ara evre olabilir. Kuark yıldızlar hâlâ farazidir ama arayış devam ediyor. ■

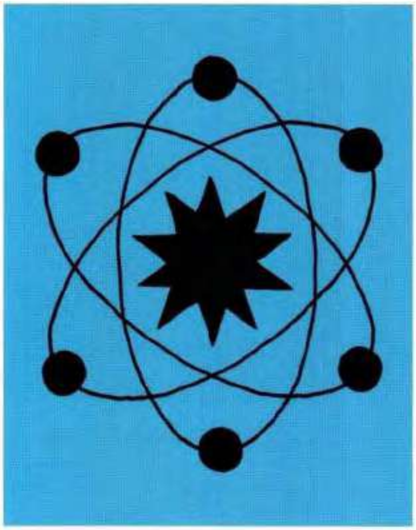


Fritz Zwicky

Bulgaristan'da İsviçreli bir baba ile Çek bir annenin çocuğu olarak dünyaya gelen Fritz Zwicky 1925'te, Caltech'te, önde gelen parçacık fizikçisi Robert Millikan'la birlikte çalışmak üzere Amerika Birleşik Devletleri'ne göç etti. 1931'de Los Angeles'a yakın Wilson Dağı Gözlemevinde, Avrupa'dan yeni gelen Alman astronom Walter Baade ile birlikte çalışmaya başladı. Bu ortaklık süpernovaların ve nötron yıldızların keşfine yol açtı; ama Zwicky'nin bu dönemdeki çalışmaları başka bir büyük keşifte de etkili oldu. Zwicky, kütleçekim etkilerinin gösterdiği şekliyle galaksilerin kütlesinin, gözlemle ölçülebilen maddeden çok daha büyük olduğunu hesapladı. Kayıp malzemeye, *dunkle Materie* adını verdi – şimdi daha çok kara madde olarak biliniyor. Swicky teorik çalışmaları dışında, jet motorların geliştirilmesinde de çalıştı ve 50'den fazla buluşunun patentini aldı.

Önemli eserleri

1934 *On Supernovae* (with Walter Baade)
1957 *Morphological Astronomy*



YILDIZLARDA ENERJİ KAYNAĞI NÜKLEER FÜZYONDUR

ENERJİ ÜRETİMİ

KISACA

ASTRONOM
Hans Bethe (1906–2005)

ÖNCE
1919 Francis Aston, dört hidrojen çekirdeğinin (protonlar) bir helyum çekirdeğinden daha kütleli olduğunu keşfeder.

1929 Gallerli astronom Robert Atkinson ve Hollandalı fizikçi Fritz Houtermans, yıldızlardaki ışık çekirdeği füzyonunun kütle-enerji eşdeğerliğine uygun olarak nasıl enerji salabildiğini hesaplar.

SONRA
1946 Ralph Alpher ve George Gamow, helyum çekirdekleri ile diğer bazı çekirdeklerin Büyük Patlama sırasında nasıl sentezlenmiş olabileceklerini açıklar.

1951 Ernst Öpik, kırmızı dev yıldızların çekirdeklerinde helyum-4 çekirdeklerini karbon-12'ye çeviren üçlü-alfa sürecini açıklar.

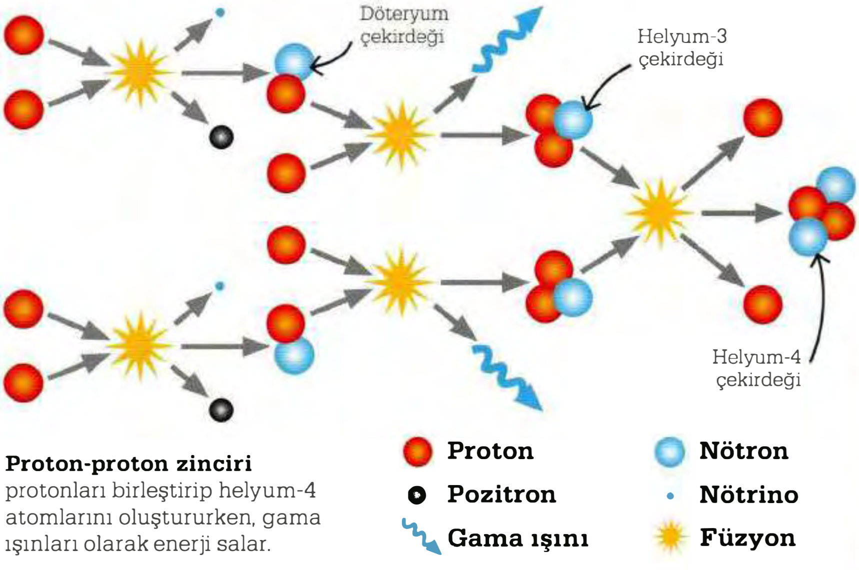
Alman kökenli fizikçi Hans Bethe 1938'de ortaya çıkarana kadar, hiç kimse Güneş'in ve diğer yıldızların bu kadar çok ışığı, ısıyı ve diğer ışımaları neden yaydığını ya da enerjilerinin nereden geldiğini kesin olarak bilmiyordu.

1905'te Albert Einstein'ın kütle ile enerjinin bir eşdeğerliği olduğunu öne süren özel görelilik teorisiyle, doğru yanıt yönünde bir adım atılmıştı. Bu keşfin önemi, küçük bir kütle kaybına çok büyük bir enerji salımının eşlik edebilmesiydi.

1919'da Britanyalı kimyacı Francis Aston, bir helyum (en hafif ikinci element) atomunun dört hidrojen (en hafif element) atomundan biraz az bir kütleye sahip olduğunu buldu. Hemen sonra Britanyalı astrofizikçi Arthur Eddington ve Fransız fizikçi Jean Baptiste Perrin, birbirinden bağımsız olarak, yıldızların enerjilerini, dört hidrojen atomunu birleştirip bir helyum çekirdeği oluşturarak elde ettiklerini, o sırada enerjiye dönüşen



Ayrıca bakınız: Görelilik teorisi 146-53 ▪ Yıldızlarda nükleer füzyon 166-67 ▪ İlkel atom 196-97



Proton-proton zinciri protonları birleştirip helyum-4 atomlarını oluştururken, gama ışınları olarak enerji salar.

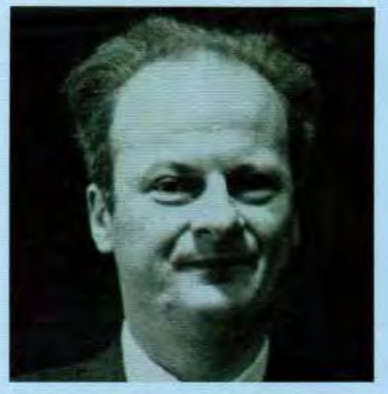
bir miktar kütle kaybı olduğunu öne sürdüler. Eddington bunun, Güneş'in milyarlarca yıl ışık saçmasına olanak verebileceğini düşündü. 1929'da Robert Atkinson ve Fritz Houtermans, atomların değil daha çok ışık çekirdeklerinin füzyonunun yıldızlarda nasıl enerji yaratabildiğini hesapladı ama reaksiyonlar bilinmiyordu.

Proton-proton zinciri

1938'de Bethe, Washington'da yıldızlarda enerjinin nasıl üretildiğini tartışmak için düzenlenen bir fizik konferansına katıldı. Konferans sırasında, yıldızlardaki hidrojen bolluğu göz önüne alındığında, enerji üretiminde en olası ilk adımın, iki hidrojen çekirdeğinin –tek protondur– birleşip bir döteryum (ağır hidrojen) atomu çekirdeği oluşturması olduğunu anladı. Bethe, bu reaksiyonun enerji ürettiğini biliyordu. Sonra, iki reaksiyon adımının daha bir helyum-4 (en yaygın helyum biçimi) çekirdeğini nasıl üretebildiğini ortaya koydu. Proton-proton zinciri denilen reaksiyon dizisini, Güneş kadar büyük yıldızlarda enerji üretiminin ana kaynağı olarak gördü.

CNO döngüsü

Bir yıldızın çekirdek sıcaklığı, yıldızın büyüklüğü arttıkça yavaş yükseldiği halde, ürettiği enerji miktarı daha hızlı artar. Proton-proton zinciri bunu açıklayamadı; bu yüzden Bethe, daha ağır atom çekirdeklerini gerektiren reaksiyonları araştırdı. Hidrojen ve helyumdan sonra, yüksek kütleli yıldızlarda kayda değer miktarda bulunan en ağır element karbondu; bu yüzden Bethe, karbon çekirdeklerinin protonlarla olası reaksiyonlarına baktı. CNO (Karbon-Nitrojen-Oksijen) döngüsü denilen bir reaksiyon döngüsü buldu; bu döngü sırasında hidrojen çekirdekleri, daha ağır elementler varken kaynaşıp helyumu oluşturur. Bethe'nin bulguları, diğer fizikçilerce hemen kabul edildi. ▪

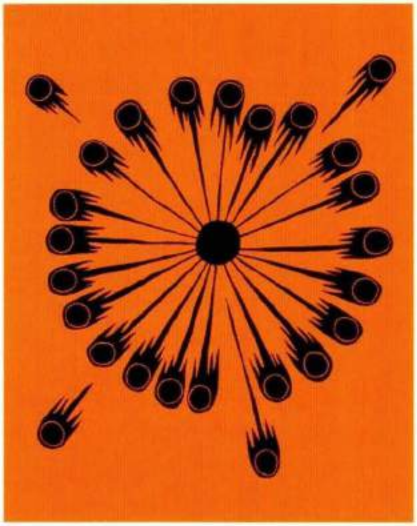


Hans Bethe

Hans Bethe 1906'da, o sırada Alman İmparatorluğu'nun bir parçası olan Strasbourg'da doğdu. Çok erken yaşta, yüksek bir matematik yeteneği sergiledi. 1928'de fizik alanında doktorasını tamamladı. Nazi rejiminin yükselişiyle birlikte Bethe önce Britanya'ya, sonra ABD'ye göçtü. II. Dünya Savaşı sırasında, ilk atom (fisyon) bombasını yapmaya uğraşan Los Alamos Bilim Laboratuvarında üç yıl çalıştı. Savaştan sonra Bethe, hidrojen (füzyon) bombasının geliştirilmesinde önemli bir rol oynadı. Daha sonra nükleer denemelere ve silahlanma yarışına karşı kampanya yürüttü. Bethe astrofizik ve nükleer fizik çalışmalarının yanı sıra, kuantum elektrodinamiği (KED) de dahil, fiziğin diğer alanlarına da önemli katkılarda bulundu. 2005'te 98 yaşında ölene kadar bütün bu alanlarda çalışmaya devam etti.

Önemli eserleri

1936–37 *Nuclear Physics* (Robert Bacher ve Stanley Livingston'la birlikte).
1939 *Energy Production in Stars*



GEZEGENLERİN ÖTESİNDE BİR KUYRUKLUYILDIZ DEPOSU VARDIR

KUIPER KUŞAĞI

KISACA

ASTRONOM
Kenneth Edgeworth
(1880–1972)

ÖNCE
1781 ve 1846 Uranüs'ün ve Neptün'ün keşfi, Güneş Sisteminin dış kenarının nerede olduğu tartışmasına yol açar.

1930 Plüton keşfedilir. Astronomlar Frederick C. Leonard ve Armin O. Leuschner, orada benzer cisimlerin bulunabileceğini öne sürer.

SONRA
1977 Charles Kowal, Satürn'ün ötesinde buzlu bir küçük gezegen, Chiron'u keşfeder.

1992 David Jewitt ve Jane Luu, bir Neptün Ötesi Nesne (NÖN –Neptün'ünkinden daha büyük bir mesafede yörüngede dönen bir nesne) keşfeder.

2005 Plüton'a benzer büyüklükte bir NÖN olan Eris ile Haumea ve Makemake NÖN'lerinin keşfedilmesi, Plüton'un cüce gezegen sınıfına indirilmesine yol açar.

1943'te İrlandalı astronom Kenneth Edgeworth, Neptün'ün ve Plüton'un ötesinde, Güneş Sisteminin şafağında oluşan ama birleşip bir gezegen oluşturamayacak kadar küçük ve geniş aralıklı olan buzlu cisimlerin oluşturduğu disk bulunduğunu öne sürdü. Bu cisimler bazen İç Güneş Sistemine girip, kuyrukluyıldız olarak görünüyorlardı. Bu düşüncesini ABD'de çok okunmayan *Journal of the British Astronomical Association* dergisinde yayınladı.

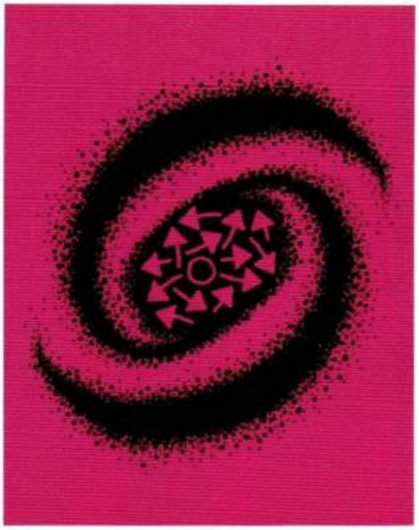
Kuiper Kuşağı

1951'de, daha itibarlı *Astrophysical Journal*'de, Hollanda kökenli Amerikalı astronom Gerard Kuiper, böyle bir diskin bir zamanlar var olduğunu ama Plüton'un kütleçekimin etkisiyle çoktan dağıldığını öne sürdü. Buna Kuiper Kuşağı denildi ama şimdi bazı astronomlar "Edgeworth-Kuiper Kuşağı" ifadesini kullanıyor.

Sonra 1980'de Uruguaylı astronom Julio Fernandez, İç Güneş Sisteminde görülen kısa dönemli kuyrukluyıldızların sayısını tedarik etmek için Neptün'ün ötesinde bir kuyrukluyıldız çekirdeği kuşağına ihtiyaç olduğunu anladı. Bölgenin birkaç saat arayla fotoğrafları çekildi ve nesnelerin hareket edip etmediklerini anlamak için incelendi; yıldızlardan daha yakın oldukları görüldü. Şimdi Kuiper Kuşağında 1000'den fazla nesne bulunmuştur. Büyük çoğunluğu 100 kilometreden büyüktür; daha küçükleri, saptanamayacak kadar sönüktür. ■

> Kuyrukluyıldızlar, başlangıçtan beri neyse öyle kaldılar –birbirine yapışmayan astronomik çakıl yığınları.
> **Kenneth Edgeworth**

Ayrıca bakınız: Oort bulutu 206 ▪ Neptün'ün ötesini araştırmak 286-87



BAZI GALAKSİLERİN MERKEZİNDE AKTİF BÖLGELER VARDIR

ÇEKİRDEKLER VE IŞINIM

KISACA

ASTRONOM
Carl Seyfert (1911–1960)

ÖNCE
1908 Edward Fath ve Vesto Slipher, NGC 1068 bulutsusunun (şimdi tipik bir Seyfert galaksisi olarak tanınmaktadır) tayfında gariplikler gözlemler.

1936 Edwin Hubble galaksilerin şekillerini sınıflandırır.

SONRA
1951 Gökyüzündeki en güçlü radyo dalgası kaynaklarından biri olan Kuğu (Cygnus) A, ilk radyo-galaksi olarak tanımlanır.

1963 Hollandalı astronom Maarten Schmidt, aslında uzak, çok parlak bir radyo dalgaları kaynağı olan yıldız-görünümlü bir nesne için yıldızımsı radyo kaynağı (daha sonra "kuasar") terimini uydurur.

1967 Amerikalı astrofizikçi Benjamin Markarian, çoğu Seyfert galaksisi olmak üzere, güçlü morötesi emisyonlu galaksilerin bir listesini yayımlamaya başlar.

1940 ile 1942 arasında Amerikalı astronom Carl Seyfert, yoğun, özellikle parlak, çoğu kez mavi renkli merkezleri bulunan çok sayıda sarmal galaksiyi inceledi. Araştırmaları, bu galaksilerin tayflarında farklı emisyon çizgileri bulunduğunu ortaya çıkardı. Daha sonra Seyfert galaksileri olarak bilinen bu tip galaksileri tarif eden bir makale yayımladı. Bu galaksiler, geniş bir dalga boyları yelpazesinde, en güçlü biçimde kızılaltı bölgede, çoğu kez görünür ışık, radyo dalgaları, morötesi ışınım, X-ışınları ve gama ışınları da içeren büyük miktarda ışınım üreten çekirdekli sarmal galaksilerdi.

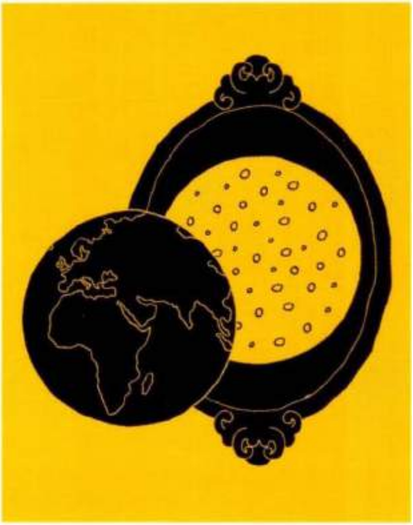


NGC 1068 (M 77) galaksisi, arketip Seyfert galaksisidir. İyonlaşmış gaz girdaplarıyla çevrili, yoğun parlak, aktif bir merkezi vardır.

Şiddetli merkezler

Seyfert galaksileri, aktif galaksi denilen bir galaksi sınıfının bir çeşididir. Aktif galaktik çekirdekler (AGÇ'ler) denilen, içinde olağanüstü miktarda şiddetli faaliyet gerçekleşen merkez bölgeleri vardır. Bir AGÇ tipi de kuasarlardır. Bunlar çok uzaktadırlar ve o kadar çok enerji üretirler ki, içinde barındıkları galaksileri gölgede bırakırlar; görülemezler. AGÇ'lerin, merkezlerinde kıvrılarak büyük kara deliklere dönüşen maddeden güç aldıkları düşünülmektedir. Birçok AGÇ ışınım yaymanın yanı sıra, merkezi kara deliklerinin etrafından uzaya güçlü parçacıklar da püskürtür. Bazıları, radyo dalgaları yayan malzeme loplarıyla ilişkilidir –bu "radyo lopları"nı barındıran aktif galaksilere radyo-galaksiler denilir. ■

Ayrıca bakınız: Sarmal galaksiler 156-61 ■ Samanyolu'nun ötesi 172-77 ■ Kuasarlar ve kara delikler 218-21



AY MADDESİ İLE DÜNYA MADDESİNİN UYUMU FAZLASIYLA KUSURSUZDUR

AY'IN KÖKENİ

KISACA

ASTRONOM
Reginald Daly (1871–1957)

ÖNCE
1913 Britanyalı jeolog Arthur Holmes, Dünya'nın en az 1,5 milyar yaşında olduğunu öne süren ilk modern jeolojik zaman ölçeğini çıkarır.

SONRA
1969–72 Apollo misyonları, Dünya'da analiz edilmek üzere Ay'dan kaya getirir.

1975 Ay kayalarının analizinden sora ABD'li astronom William Hartmann ve diğerleri yeni kanıtlamak için devasa çarpma teorisine döner.

2011 Norveç kökenli Amerikalı gezegen-bilimci Erik Asphaug ve İsviçreli astrofizikçi Martin Jutzi, Ay'ın küçük bir yoldaş ayla birlikte oluştuğunu ve daha sora ikisinin çarpıştığını öne sürer.

Jeologlar Dünya'nın milyarlarca yıllık varoluşunun öyküsünü 20. yüzyılın başında ana hatlarıyla ortaya çıkarmıştı. Ama Ay'ın kökeni spekülasyona açık kaldı. 1940'lara kadar pek çok astronom, doğa bilimci Charles'ın oğlu George Darwin'in öne sürdüğü bir teoriye bağlı kaldı. 1898'de Darwin, sıcak ve hızlı dönen bir Dünya'nın fırlattığı erimiş kaya, yörüngede dönen bir uyduyla kaynaşınca Ay'ın oluştuğunu öne sürdü. Ay'ın eskiden Dünya'ya çok daha yakın olduğunu ve yavaş yavaş uzaklaştığını söyledi. Ay'ın yılda yaklaşık 3,5 santimetre uzaklaştığını gösteren ölçümler, bunu doğrulamaktaydı.



Astronomlar, HD 172555 yıldızının yörüngesinde dönen iki küçük gezegenin birkaç bin yıl önce çarpıştığını buldu. Olasılıkla Dünya'yı da içine alan benzer bir çarpışma Ay'ı oluşturdu.

Ayrıca bakınız: Ceres'in keşfi 94-99 ▪ Kuyrukluyıldızların bileşimi 207 ▪ Kraterleri araştırmak 212 ▪ Uzay Yarışı 242-49

Ay kayaları ile Dünya'nın mantosundaki malzeme birbirine uyar.

Ay, Dünya'nın magmasını yörüngeye sokan **devasa bir çarpışmada** oluşmuş olabilir.

Bilgisayar modellemesine göre 4,3 milyar yıl önce **daha küçük bir gezegen Dünya'ya çarptı ve çarpışma Ay'ı yarattı.**

> Esasında her "kesin" bilim, spekülatiftir ve öyle olmalıdır. Bilimin araştırma aleti de ender biçimde cesaretle ve muhakemeyle kullanılan hayalgücünün düzene sokulmasıdır.
> **Reginald Daly**

1940'larda Amerikalı kimyacı Harold Urey'in savunduğu alternatif teori, "yakalama" modeliydi; buna göre Ay, Güneş Sisteminde başka yerde oluştu ve Dünya'nın kütleçekiminin denetimine girdi. Ne var ki, Ay Dünya'ya göre o kadar büyüktür ki, pek çok kişi böyle bir olayı olası görmedi.

1946'da Kanadalı jeolog Reginald Daly, üçüncü bir düşünce sundu. Ay ile Dünya'nın aynı malzemeden oluştuğu konusunda Darwin'le hemfikir olurken, itici gücün yörüngeye malzeme fırlatan başka bir cisim ile Dünya arasında bir çarpışma olduğu varsayımında bulundu.

Eşleşen kaya

Daly'nin düşüncesi, Ay kayalarının analizi mineral içeriğinin Dünya'nın mantosundakine (kabuk ile çekirdek arasındaki tabaka) çok yakın olduğunu gösterdiği 1970'lere kadar fazla önemsenmedi. Her ikisinde de yüksek miktarda silikat, az miktarda metal vardır. Ay başka yerde oluşmuş olsaydı, kayaları Dünya'nınkinden çok farklı olurdu. Dünya'yla aynı erimiş ham malzemeden oluşmuş olsaydı, Dünya'nın mini bir versiyonu olması ve daha büyük bir metalik çekirdeği bulunması beklenirdi. Ne var ki, kaya kanıtlar, gezegen katılaştıktan sonra Dünya'nın yüzeyinden alınan maddeden oluşan Ay'a işaret ediyor.

Büyük Sıçrama

Geçen on yılda olası çarpmaların bilgisayar modellemesi, Büyük Sıçrama denilen bir olaya işaret etmektedir. Bu senaryoda Mars büyüklüğünde bir gezegen (Yunan mitolojisinde Ay'ın annesinin adından hareketle Theia adı verilen) 4,3 milyar yıl önce –Dünya'nın oluşumundan yaklaşık 200 milyon yıl sonra– Dünya'ya çarptı. Çarpışma her iki cismi de kaynayan magma toplarına dönüştürdü. Theia'nın çok büyük bölümü Dünya'yla kaynaştı (Dünya'nın aşırı büyük bir metal çekirdeğinin olmasının nedenini açıklıyor) ve "sıçrama," çoğu gezegenin kayalık dış bölgesinden magmayı yörüngeye savurdu. Bu malzeme Ay'ı oluşturdu. Büyük Sıçrama düşüncesi şimdilik daha çok bir varsayım olmasına rağmen, hâlâ Ay'ın kökeni konusunda en iyi tahmindir. ▪

Reginald Daly

Jeolog Reginald Daly'nin kıtaların kayması, levha tektoniği ve kayaç döngüsü teorilerine katkılarının, Güneş Sisteminde Dünya ile diğer kayaç cisimler arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları anlamada paha biçilmez olduğu kanıtlandı.

Daly'nin jeolog olarak yetenekleri Kanada'nın güney sınırını, Pasifik kıyısından Kayalık Dağlarına, oradan Büyük Ovalara kadar inceleyince anlaşıldı. Bu araştırma sırasında topladığı kaya örnekleri, farklı kayaç tiplerinin kökeni konusunda önde gelen ses olmasına yol açtı. 1920'lerin başında Daly, Dünya'dan fırlayıp Ay'ı oluşturan malzemenin, Dünya'nın kabuğunun dinamik karakterinin temel nedeni olduğunu öne sürdü. Çarpma teorisi, Daly'nin çalışmalarına sonradan eklendi, Harvard Üniversitesi jeoloji bölümünün başkanı olarak emekli olduktan sonra geldi.

Önemli eserleri

1946 *Origin of the Moon and its Topography*

UÇAN TELESKOPLARLA BİRLİKTE ÖNEMLİ YENİ KEŞİFLER YAPILACAKTIR

UZAY TELESKOPLARI



KISACA

ASTRONOM
Lyman Spitzer Jr.
(1914–1997)

ÖNCE
1935 Karl Jensky radyo dalgaları üreten gök nesnelerini açığa çıkarıp, görünür ışığın ötesinde Evren'e bakmanın yeni yollarını sunar.

1970 NASA yörüngede dönen X-ışını gözlemevi Uhuru'yu fırlatır.

1978 Gerçek zamanda çalışan ilk teleskop Uluslararası Morötesi Kâşif (International Ultraviolet Explorer) fırlatılır.

SONRA
1990 Hubble Uzay Teleskobu fırlatılır.

2003 Kızılaltı Spitzer Uzay Teleskobu fırlatılır.

2009 Kepler Teleskobu Güneş Sistemi dışındaki gezegenleri aramaya gönderilir.

2018 Kızılaltı James Webb Uzay Teleskobu fırlatılacak.

1946'da, ilk uydu Sputnik 1 Dünya'nın yörüngesine fırlatılmadan tam 11 yıl önce, 32 yaşında astrofizikçi Lyman Strong Spitzer Jr, günün birinde Dünya'nın yüzeyinde değil, yörüngede çalışacak güçlü bir teleskop tasavvur etti. Mat atmosferin ve ışık kirliliğinin yukarısında bu uzay teleskobu Evren'i net ve eşsiz bir biçimde görecekti. Spitzer'in rüyası 40 yıldan fazla bir süre sonra gerçekleşecekti ama sabrı ve azmi sonunda karşılığını görecekti.

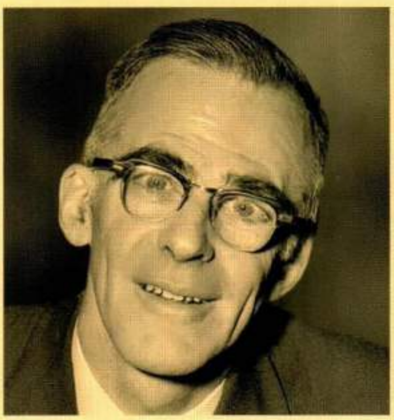
Işıktan fazlası

Karl Jansky'nin 1935'te dünya-dışı radyo dalgalarını keşfi, Evren'i gözlemlemenin görünür ışık dışında başka yolları da olduğunu açığa çıkardı. 1939'da II. Dünya Savaşının çıkması, bu yeni ve heyecan verici alanda araştırmaları kesintiye uğrattı. Radyo-astronomide ilk adımları atmak, Illinois'li amatör astronom Grote Reber'e kaldı. 1937'de Reber, kendi arka bahçesinde yaptığı ev-yapımı anteni kullanarak radyo Evren'ine ilişkin ilk incelemelerini yapmıştı. Kısa süre sonra, savaş sırasında araştırmacılar meteorların ve Güneş lekelerinin kendi radyo dalgalarını ürettiklerini buldular –bu kez, radarlarda kullanılan mikrodalga bandında. Radyo kullanarak yeni nesneleri keşfetmek olanaklıysa, o zaman kızılaltı, morötesi (UV) ve X-ışınları gibi diğer elektromanyetik ışıma biçimleri de gözlem aleti olarak kullanılabilirdi.

Ne var ki, bir sorun vardı. Görünür ışık için geçirgen olan Dünya atmosferi, bu tür ışımaların birçoğu için geçirimsizdir. Dalgalar hava moleküllerince soğurulur, tekrar uzaya yansıtılır ya da anlamsız bir biçimde her yöne saçılır. Sonuç ola-

> Atmosferin yukarısında yapılan gözlemler astronomiyi diğer bilim alanlarından daha fazla devrimcileştirebilir. Yeni bir keşif macerasında hiç kimse nelerin bulunacağını önceden söyleyemez.
> **Lyman Spitzer Jr.**

Lyman Spitzer Jr



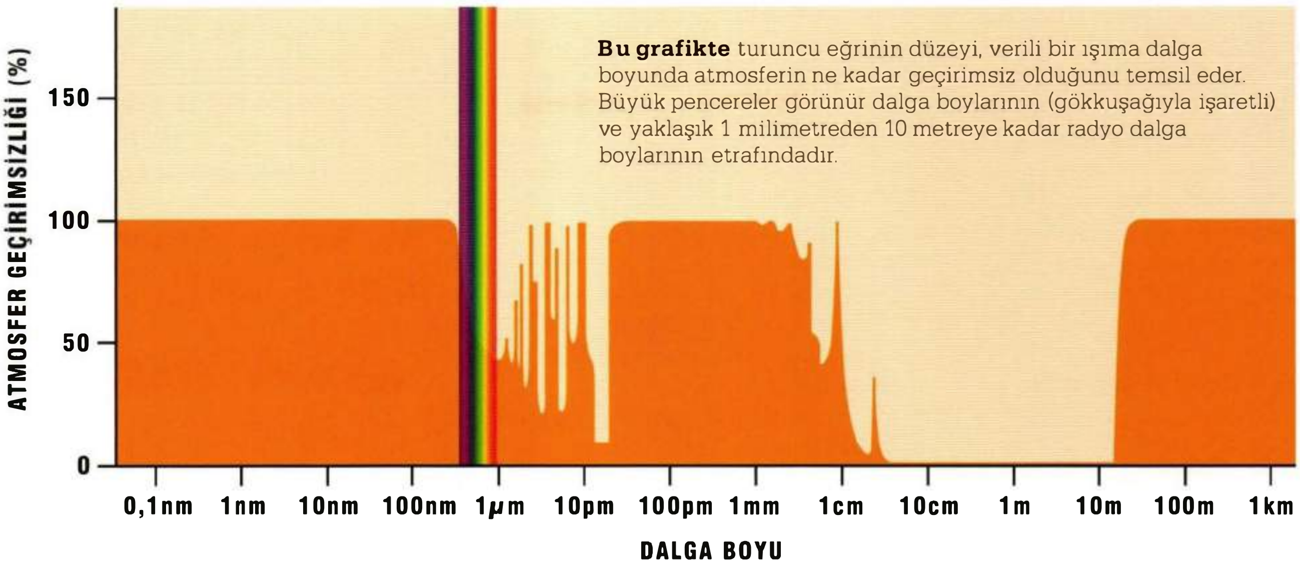
Lyman Spitzer Jr. 1914'te Ohio'da, Toledo'da doğdu. Princeton'dan Henry Norris Russel gözetiminde astrofizik alanında doktora yaptı. II. Dünya Savaşından sonra astrofizik bölümünün başkanı oldu ve uzay teleskoplarına adadığı 50 yılı başladı.

Bir plazma uzmanı olan Spitzer 1950'te stellaratoru icat etti. Bu aygıt, manyetik bir alanda sıcak plazma içeriyordu ve bugün de devam eden füzyon gücü arayışını başlattı. 1965'te Spitzer uzay gözlemevlerini geliştirmek üzere NASA'ya girdi ama o yıl, tamamen bambaşka bir alanda zafer kazandı. Arkadaşı Donald Morton ile birlikte Spitzer, Thor Dağına, Kanada Kutup Bölgesinde 1675 metrelik bir zirveye tırmanan ilk kişi oldu. 1977'de bir uzay teleskobu için yürüttüğü kampanya sonuç verdi ve Hubble Uzay Teleskobuna mali kaynak sağlandı. 1990'da rüyası gerçekleşecek kadar uzun yaşadı.

Önemli eserleri

1946 *Astronomical Advantages of an Extra-terrestrial Observatory*

Ayrıca bakınız: Samanyolu'nun ötesi 172-77 ▪ Radyo-astronomi 179 ▪ Uzak yıldızları incelemek 304-05 ▪ Kütleçekim dalgaları 328-31



rak, dünyadan gözlemlerle pek çok görünmez ışınım türüyle ilgili bilgi toplamak neredeyse olanaksızdır.

Spitzer'in 1946'da yayımladığı *Astronomical Advantages of an Extra-terrestrial Observatory (Dünya-dışı Bir Gözlemevinin Astronomik Avantajları)* başlıklı makalesi, görülmeyen ışımayı saptama sorununa dikkat çekmekteydi. Çözümü, uzaya bir teleskop koymaktı. Ama Spitzer böyle bir önerinin önündeki engelleri de vurguladı: birincisi, uzay yolculuğu icat etmenin teknolojik zorluğu ve ikincisi, yerden uzaktan kumandayla uzayda çalışabilen bir alet tasarlama zorluğu.

Kırpış kırpış küçük yıldız

Spitzer'in makalesinin geri kalanı, yüzyıllardır astronomları yıldıran bir sorunu çözmeye odaklıydı –gökyüzünün kendisi. Dünya'dan bakılınca yıldızlar, kırpışır gibi görünürler. Bu etkiye, ışığın ileri geri kayması, parlaklığın yükselip düşmesi neden olur. Bu, yıldız ışığının özniteliği değildir; Dünya'nın kalın atmosferi neden olmaktadır. Büyütme arttıkça kırpışma daha belirginleşir, bir teleskobun göz merceğinde nesnelerin titrek ve puslu ya da fotoğraflarda dağınık ışık lekeleri olarak görünmelerine neden olur.

Kırpışmanın bilimsel adı ışık titreşimidir (sintilasyon). Işık atmosferde türbülanslı hava tabakalarından geçince oluşur. Türbülansın kendisinin ışık üzerinde bir etkisi yoktur ama havanın karışmasına ve girdap oluşturmasına neden olan yoğunluk ve ısı farklılıklarının bir etkisi vardır. Yıldız ışığı bir hava cebinden farklı yoğunlukta başka bir cebe geçerken, hafif kırılır, bazı dalga boyları diğerlerinden daha fazla bükülür. Sonuç olarak, kozmostan geçip Dünya'ya gelen ölü düz ışık demeti, havada sürekli değişen zikzaklı bir yol izlemeye başlar. Bu ışık demetine odaklanan teleskop ya da çıplak göz, ışığın bir kısmı bu görüş hattının içine



ve dışına yöneldiği için, parlaklıkta bir dalgalanma görür.

Kırpışmanın keskin astronomik görüntü almanın üzerindeki etkisine "görüş" denilir.

Atmosfer çok durgun ve görüş iyi olduğu zaman, uzak bir yıldızın teleskoptaki görüntüsü, küçük bir sabit disktir. Görüş kötü olduğunda, görüntü bozulup karışık bir noktalar kümesine dönüşür. Belirli bir süre boyunca alınan bir görüntü, yayılıp geniş bir diske dönüşür. Sonuç, odaklanmamış bir teleskopa benzer.

Görüşü iyileştirme

Gözlem koşulları, atmosferle birlikte sürekli değişir. 1990'lardan önce gözlemciler, bozulmalar minimuma inene kadar beklerdi. Örneğin kuvvetli rüzgârlar türbülansı giderip kusursuza yakın görüş koşulları yaratır. 1940'ların sonunda astronomlar, zaman içinde filme alınan binlerce kare arasında, gökyüzünü billur berraklığında yakalayan "şans eseri görüntü" bulma umuduyla gökyüzünü filme alan sinema kameraları kullanmaya başladılar. Bir çözüm de, daha yükseklere çıkmaktı. Bugün yeryüzündeki en etkili gözlemevlerinin tümü, bulut örtüsünün en az ve yukarıdaki havanın genellikle sakin olduğu yüksek, kurak dağların tepelerine kuruludur.

1990'larda güçlü bilgisayarların gelmesiyle birlikte, yere-mahkûm astronomlar astronomik görüş sorunlarını düzeltmek için uyarlamalı optik (UO) kullanmaya başladılar. Tıpkı bozulmuş bir görüntüyü bozulmadan önceki özgün görüntüye benzetmek için çarpık bir aynanın kullanılması gibi, UO da gelen ışıktaki çarpıklıkları ölçüp düzeltir. UO sistemleri ince ayarlı aynalar ve başka optik aygıtlar kullanır; ama aynı zamanda görüntülerden atmosferik "gürültü"yü süzüp çıkarmak için büyük ölçüde bilgisayarlara dayanır. Bununla birlikte, UO'nun getirdiği dramatik iyileşmelere rağmen, yörüngede, görülebilir ışık da dahil tayfın çoklu dalga boylarında gözlem yapabilen büyük bir teleskop, astronominin nihai hedefiydi.

> Yıldızlara ve yıldızlararası maddeyi ilişkin bilgimiz, öncelikle, bize ulaşan elektromanyetik ışınıma dayanmalıdır.
>
> **Lyman Spitzer Jr.**

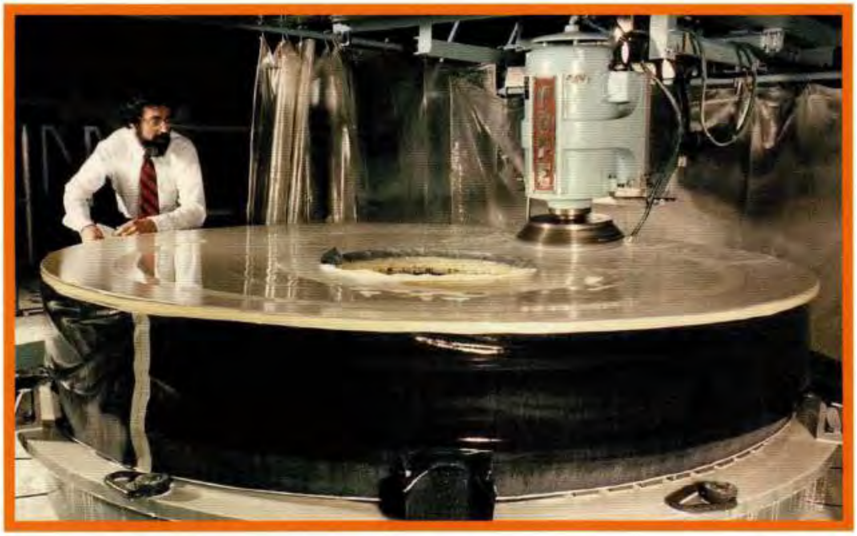


Uyarlamalı optik, referans noktası olarak net bir yıldızı gerektirir. Bunları bulmak zor olduğu için, bir sodyum lazeri yüksek atmosferdeki tozu aydınlatarak bir "yıldız" yaratır.

Hubble'a giden yol

Bu alanda öncü ses olarak Spitzer, 1965'te NASA'nın Büyük Uzay Teleskobu (BUT) geliştirme ekibinin başına getirilmişti. 1968'de NASA, morötesi (UV) ışıkta yüksek kaliteli görüntüler alan Orbiting Astronomical Observatory (OAO-2; Yörünge Astronomi Gözlemevi) ile ilk uzay teleskobu başarısını elde edip, uzay-tabanlı astronominin avantajlarına farkındalığı artırdı.

Spitzer'in BUT'u görülebilir ışık tayfına sahip yakın ve uzak nesneleri gözlemleyerek, OAO-2'den daha dramatik sonuçlara ulaşmayı amaçlıyordu. Ekibi 3 metrelik bir aynalı teleskopa karar verdi ve 1979'da fırlatılması planlandı. Ne var ki, proje çok pahalıydı; bütçesi yetmedi. Maliyeti azaltmak için açıklığı 2,4 metreye indirildi ve BUT, 1983'e ertelen-



Hubble'ın aynasını parlatan bir makine. 2,4 metrelik açıklığı bugün küçük gibi görünebilir ama 1948'e kadar dünyanın en büyük teleskobu olan Hooker Teleskobuyla aynı büyüklüktedir.

di. 1983 yılına gelindiğinde, herhangi bir fırlatma gerçekleşmedi ama Spitzer ısrar etti ve projeye devam edildi. Bu arada, BUT'un adı değiştirildi; Evren'in gerçek ölçeğini ilk kez kavrayan Edwin Hubble'ın adı verilerek Hubble Uzay Teleskobu (HUT) yapıldı. O sırada teleskobun aynaları yapılmıştı. Ağırlığı azaltmak için, üstteki düşük-genleşmeli cam tabaka bir petek desteğin üzerine oturtuldu. Aynaların şekli önemliydi. Yapım sırasında aynalar, uzayda yamulmamalarını sağlamak için, kütleçekimsizliği taklit eden bir desteğin üzerinde tutuldular. Camları, 10 nanometrelik bir doğrulukla perdahlayıp bükey hale getirmek gerekiyordu. Bu, HUT'un morötesi ışıktan kızılaltı tayfın üst ucuna kadar her şeyi görmesini olanaklı kılacaktı.

Yeni ertelemeler HUT'un fırlatılmasını 1986'ya bıraktı; ama sonra 28 Ocak 1986'de Uzay Mekiği Challenger patladı ve NASA'nın mekik filosu iki yıl boyunca yerden kalkmadı.

Sonunda 24 Nisan 1990'da Uzay Mekiği Discovery, HUT'u Dünya'nın 540 kilometre yukarısındaki yörüngesine çıkardı. Spitzer, meslek rüyasını sonunda gerçekleştirmişti – uzayda kötü görüş ve morötesi ile kızılaltı ışınları kısmen geçirmeyen bir atmosfer sorunu yaşamayan bir teleskop.

Hubble sorunu

Ne var ki, yerdeki sorunlar uzayda da devam etti. HUT'un gönderdiği ilk görüntüler o kadar kötüydü ki, neredeyse hiçbir işe yaramadılar. HUT, yer-tabanlı bir teleskoptan daha kötü bir gözlem aleti mi olacaktı? Görüntü analizleri, aynanın kenar şeklinin yanlış olduğunu açığa çıkardı. Hata çok küçüktü –bir metrenin yaklaşık 2 milyonda biri– ama birinci aynanın dış tarafının yakaladığı ışığı ikinci aynanın yanlış bölgesine gönderip, görüntülerde ciddi sapmalar yaratmaya yetiyordu. Spitzer ve ekibi için can sıkıcı bir andı; çünkü HUT'un, bir başarısızlık olduğu kanıtlanacakmış gibi görünüyordu.

Düzeltici vizyon

Hubble'ın potansiyelini gerçekleştirmesi için, optik sistemine düzeltici öğeler eklenmesi gerekiyordu. Böylece bir gözlük takıldı. Birinci aynayla ilgili sorun, teleskobun görüntüleri analiz edilerek kesin bir biçimde hesaplandı. Çözüm, ana ay-



Hubble Uzay Teleskobu, Spitzer'in rüyasının gerçekleşmesidir. Şimdiye kadar yapılmış en güzel bilimsel aletlerden biridir.



ABD'li astronot Andrew Feustel, 2009'da bir bakım misyonunda elektrikli bir alet kullanıp Hubble Uzay Teleskobunu onarıyor.

nadan giren ışığın doğru odaklanması için Hubble'ın aletlerinin önüne özenle tasarlanmış aynalar eklemekti. 1993'te can alıcı bir bakım misyonu sırasında bu aynalardan iki takım yerine konuldu. Kusursuz çalıştılar. HUT sonunda çalıştırıldı ve sonuçlar şaşırtıcıydı.

1993'ten sonra astronotlar, sonuncusu 2009'da olmak üzere dört kez daha HUT'un bakımını yaptı. Mekikler 2011'de emekliye ayrıldı; ondan sonra HUT'a bakım yapmak olanaklı olmadı. Bununla birlikte son bakımda önemli güncellemeler eklendi; yani HUT 2040'a kadar kullanımda kalabilir.

Ultra derin, ultra berrak

HUT kuşkulu bir başlangıç yapmasına rağmen, bütün beklentileri aştı. Teleskop, Dünya'nın etrafında 5 milyar kilometrelik yolculuğu sırasında şimdiye kadar 1,2 milyon gözlem yaptı. Saatte 27.000 kilometre hızla yol almasına rağmen, uzayda bir konumu 0,007 yay-saniyelik bir doğrulukla belirleyebiliyor –bu, 300 metreden 25 kuruşluk madeni parayı vurmaya benzer. 0,05 yay-saniye bir nesneyi ayrıştırabiliyor. NASA bunu, ABD'de Maryland'te durup, Tokyo'da iki ateşböceğini görmeye benzetti. Dünya'nın her tarafından astronomlar, ilgilendikleri nesneleri görmek için HUT'un zamanında yer ayırtmaya başladılar. Gördüğü her şeyin yer aldığı arşiv –toplam 100 terabayt– herkese açık bir web sitesinde görülebilir.

HUT'un gözlemlerinin çoğu, uzayın derinliklerine –zaman içinde çok geriye– bakmaktaydı. 1995'te Derin Alan görüntüsü, uzayın boş bir bölümüne, toplam gökyüzünün 24 milyonda birine odaklandı. Toplam 32 ışıklama, 12 milyar ışık yılı uzakta olan çok sayıda bilinmeyen galaksiyi ortaya çıkardı –Büyük Patlamadan 1,5 milyar yıl sonra yolculuğuna başlayan ışık. 2004'te Ultra Derin Alan 13 milyar ışık yılı uzakta olan nesneleri gösterdi ve 2010'da HUT kızılaltı ışınımı kullanıp, Evren'in tarihinde yalnızca 480 milyon yıl var olan nesnelerin Aşırı Derin Alan görüntülerini elde etti. Bundan ötesini görmek, 2018'de kızılaltı James Webb Uzay Teleskobunu gerektirecek.

Spitzer uzayda

HUT, Lyman Spitzer Jr.'ın mirası olan dört büyük gözlemevinin en ünlüsüdür. 1991 ile 2000 arasında Compton Gama Işını Gözlemevi gama ışını patlamalarına, görülebilir Evren'in kenarında gerçekleşen enerji olaylarına baktı. Chandra X-ışını Gözlemevi 1999'da fırlatıldı ve kara delikler, bebek Güneş sistemle-

> Doğa düşünceli davranıp bize, neredeyse bütün dalga boylarında ışıyan enerjinin, genellikle ihmal edilebilir soğurmayla çok uzak mesafeleri doğrusal hatlar boyunca katettiği bir evren sunmuştur.
>
> **Lyman Spitzer Jr.**



2004'te alınan Ultra Derin Alan görüntüsü değişik şekillerde, renklerde ve yaşlarda mücevher benzeri binlerce galaksiyi açığa çıkarıyor. Kırmızı galaksiler en uzak olanlardır.

ri ve süpernovalar bulmakla görevlidir. Son olarak, Spitzer Uzay Teleskobu 2003'te uzaya girdi. Görevlerinden biri, bulutsuların içine bakıp yıldızların oluştuğu sıcak bölgeleri ortaya çıkarmaktı. 2009'da, teleskobun ısıya duyarlı dedektörlerini soğuk tutan sıvı helyum bitti.

Gözlemevleri, Dünya'nın değil Güneş'in yörüngesine yerleştirilebilir; orada gözlemevlerini Güneş'in ısısından ve ışığından korumak daha kolay olur ve geniş, engelsiz bir gökyüzü görüşüne sahip olurlar. Bugün yörüngede 30 kadar gözlemevi vardır ve görüntü gönderiyorlar. NASA'nın Güneş Sistemi dışında gezgen arayan Kepler'i ve iki AUA misyonu, Herschel ve Planck, bunun iki örneğidir. Hepsi 2009'da fırlatıldı. Herschel, uzaya yerleştirilen en büyük kızılaltı teleskoptu; Planck ise, kozmik mikrodalga ardalan ışımasını incelemekteydi. 2015'te AUA elektromanyetik dalgaları değil kütleçekim dalgalarını saptayacak bir uzay gözlemevinin teknolojisini test etmek için LISA Pathfinder'ı fırlattı. Lyman Spitzer Jr. bile böyle bir ilerlemeyi öngörememişti. ■



Spitzer Teleskobuna, NASA tarafından Lyman Spitzer Jr.'ın vizyonunu ve katkılarını onurlandırmak için bu ad verildi. Başlangıçtaki adı, Uzay Kızılaltı Teleskop Tesisi'ydi.



ATOM ÇEKİRDEKLERİ MEYDANA GETİRMEK BİR SAATTEN AZ BİR ZAMAN ALIR

İLKEL ATOM

KISACA

ASTRONOMLAR
George Gamow (1904–1968)
Ralph Alpher (1921–2007)

ÖNCE
1939 Hans Bethe, yıldızlarda hidrojenden helyum yapmanın iki yolunu açıklar.

SONRA
1957 Fred Hoyle ve meslektaşları, yıldızlarda kimyasal elementlerin diğer elementlerden sentezlenebildiği sekiz işlemi ortaya koyar.

1964 Alman-ABD'li fizikçi Arno Penzias ve ABD'li astronom Robert Wilson, kozmik mikrodalga ardalan ışımayı keşfeder.

1970'ler Büyük Patlama nükleosenteziyle hesaplandığı şekliyle atom tabanlı maddenin (protonlardan ve nötronlardan oluşan) kütlesinin, Evren'in gözlemlenen kütlesinden çok daha az olduğu bulunur. Bu bilmece, kara maddenin varlığı öne sürülerek büyük ölçüde çözülür.

Büyük Patlama teorisi doğruysa, Evren'in **ilk birkaç dakikasında** sıcaklıklar **aşırı derecede** yüksekti.

↓

Kısa bir zaman aralığında, protonların ve nötronların birleşip **atom çekirdeğini oluşturmaları** için koşullar uygundu.

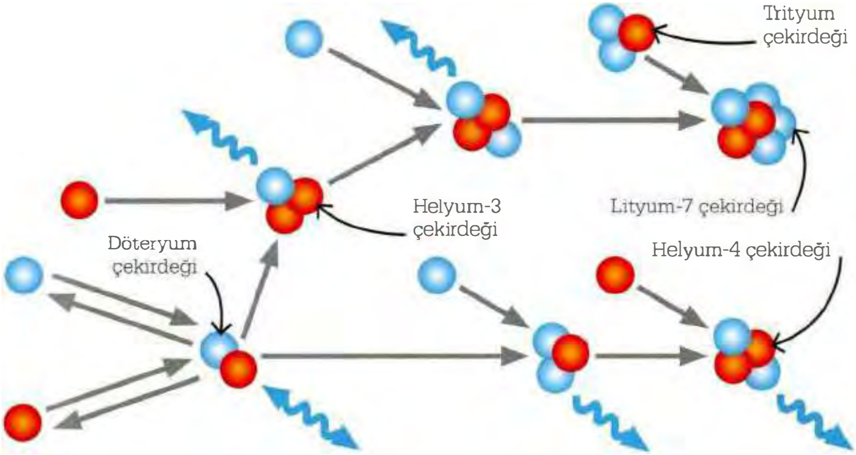
↓

Atom çekirdekleri meydana getirmek bir saatten az bir zaman alır.

1931'de Georges Lemaître Evren'in aşırı yoğun "ilkel bir atom"un patlamasından meydana geldiğini ve o zamandan beri genişlemekte olduğunu öne sürdü –şimdi Büyük Patlama teorisi olarak biliniyor. Ne var ki, 1940'ların ortasında, teorinin inanırlığını sürdürmesi için hâlâ ek kanıtlara ihtiyacı vardı.

Ukraynalı fizikçi George Gamow, Lemaître'in önerdiği şekliyle Evren'in başlangıcındaki koşulları düşünmeye başladı. O koşulların hayal edilemeyecek kadar sıcak olacağını hemen anladı. O koşullarda madde, çılgınca temel parçacıklardan –o sırada büyük ölçüde protonları, nötronları ve elektronları kapsadığı düşünülen– ibaretti. Sıcaklık, bu parçacıkların çok kısa dönemler hariç birleşmesini önleyecek kadar yüksekti. Ne var ki, Evren var olduktan birkaç saniye sonra genişledi ve protonlar ile nötronlar, güçlü nükleer kuvvet denilen bir etkileşimle bir arada kalacak, böylece bir dizi atom çekirdeği yaratacak kadar soğudu. Gamow, protonlardan ve nötronlardan ilk birkaç "tohum" çekirdek bir araya geldikten sonra, peş peşe nöt-

Ayrıca bakınız: Evren'in doğuşu 168-71 ▪ Enerji üretimi 182-83 ▪ Nükleosentez 198-99



Evren'in ilk dakikalarında protonlardan ve nötronlardan atom çekirdeği oluştu. Nötronların çok büyük bölümü helyum-4 çekirdeğini boyladı. Az miktarda helyum-3 ve döteryum (bir hidrojen izotopu) ile çok küçük miktarda lityum-7 de meydana geldi. Hidrojenin başka bir izotopu –trityum– oluştu ve helyum-3'e bozundu. Enerji, gama ışını biçiminde salındı.



ronların eklenmesiyle, bazılarının protonlara bozunmasıyla başka çekirdeklerin oluşmuş olabileceğine inandı. Daha sonra, bütün çekirdekler elektronları yakalayıp kimyasal elementlerin atomlarını meydana getirmiş olabilir.

Matematik yapmak

Gamow, Amerikalı yüksek lisans öğrencisi Ralph Alpher'den düşüncesinin ayrıntılarını ortaya çıkarmasını istedi. Alpher ile meslektaşı Robert Herman, kapsamlı matematiksel hesaplamalar gerçekleştirdi. Protonların ve nötronların bir araya gelme koşullarının yalnızca birkaç dakikalık bir zaman aralığında var olduğunu buldular. Hesaplamalarına göre, Evren'in nötronlarının çok büyük bölümü sonunda bir helyum izotopunda (olası alternatif formlardan biri), helyum-4 izotopunda, protonlarla birleşmişti. Küçük bir miktarı, başka küçük atom çekirdekleri haline gelmişti. Ayrıca sürecin sonunda geride çok sayıda serbest proton (hidrojen çekirdeği) ve hızla bozunan bir miktar istikrarsız çekirdek kalmıştı.

Hesaplamaları Evren'in yaklaşık yüzde 25 helyumdan oluştuğunu, geri kalanının esas olarak hidrojen olduğunu göstermekteydi. Alpher ve Gamow'un yayımladığı makale, Büyük Patlamada peş peşe nötronların eklenmesiyle daha ağır çekirdeklerin yaratılmış olabileceğini de savunmaktaydı.

Doğru öngörüler

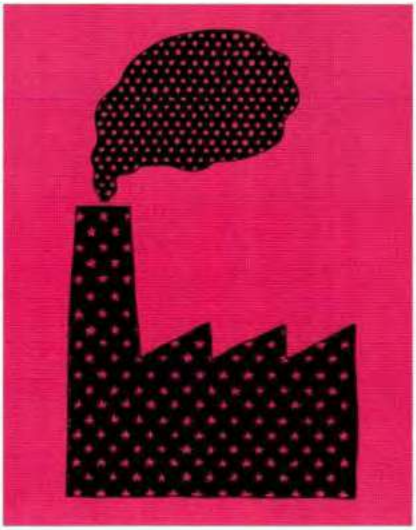
Fred Hoyle gibi bilim insanlarının çalışmalarıyla, karbon gibi daha ağır elementlerin yıldızlarda ve süpernova patlamalarında yaratıldığı sonunda kabul edildi. Yine de Alpher-Gamow teorisi, hidrojenin ve helyumun göreli bolluğunu doğru bir biçimde açıklayarak, Evren'in bir Büyük Patlamayla başladığını öne süren teoriye hatırı sayılır bir destek verdi. 1964'te keşfedilen kozmik bir ardalan ışımasının (s. 222-27) varlığını da doğru bir biçimde öngördü. ▪

George Gamow

George Gamow 1904'te Ukrayna'da, Odessa'da doğdu. 1923'ten itibaren Leningrad Üniversitesine devam etti, Alexander Friedmann'dan ders aldı. 1928'de kısa bir süre Almanya'da Göttingen Üniversitesinde kaldı ve orada kuantum sızma denilen bir teori geliştirdi. Bu teori başkaları tarafından, hafif atom çekirdekleri füzyonunun yıldızların içinde nasıl enerji yaratabildiğini açıklamak için kullanıldı. 1933'te bir konferansa katılmak için gittiği Brüksel'den Sovyetler Birliği'ne dönmedi. ABD'de George Washington Üniversitesinde ilgisini yıldızların evrimine yöneltti. 1954'ten itibaren Gamow genetik ve biyokimyayla ilgilendi. Çok sayıda popüler bilim kitabı ve bilimkurgu roman da yazdı.

Önemli eserleri

1948 *The Origin of Chemical Elements* (Alpher-Bethe-Gamow metni olarak da bilinir).
1952 *The Creation of the Universe*



YILDIZLAR KİMYASAL ELEMENT FABRİKALARIDIR

NÜKLEOSENTEZ

KISACA

ASTRONOM
Fred Hoyle (1915–2001)

ÖNCE
1928 George Gamow kuantum teorisine dayanan ve çeşitli atom çekirdeklerinin nasıl birleştiğini ortaya çıkarmak için kullanılabilen bir formül kurar.

1929 Gallerli astronom Robert Atkinson ve Hollandalı fizikçi Fritz Houtermans, yıldızların içindeki sıcaklıklarda hafif elementlerin çekirdeklerinin nasıl birleşebildiğini ve aynı zamanda enerji salabildiğini ortaya çıkarır.

SONRA
1979 Bilim insanları Evren'deki tüm hafif lityum, berilyum ve bor elementlerinin çekirdeklerinin yıldızlarda değil, uzayda kozmik ışınların (yüksek enerjili parçacıklar) diğer çekirdeklere çarpmasıyla meydana geldiğini keşfeder.

Daha ağır elementlerin yaratılması için **daha yüksek sıcaklıklar** gereklidir.

↓

Dev yıldızların evriminde birçok elementin yaratılmasına **uygun koşullar** meydana gelir.

↓

Dev yıldızlar **süpernova patlamalarıyla** dağılınca diğer elementler için **aşırı koşullar** gelir.

↓

Birkaçı hariç bütün elementler, yıldızlarda **sekiz ayrı süreçle yaratılabilir.**

↓

Yıldızlar kimyasal element fabrikalarıdır.

1940'ların sonuna kadar, Evren'deki pek çok kimyasal elementin –örneğin karbon, oksijen ve demir– atomlarının nereden geldiği, nasıl oluştuğu bilinmiyordu. 1920'lerde en hafif iki elementin, hidrojen ile helyumun Evren'in maddesinin çok büyük bölümünü oluşturduğu saptanmıştı ve 1948'de George Gamow ile Ralph Alpher, hidrojenin tamamının, helyumun çok büyük bölümünün ve az miktarda lityumun, "Büyük Patlama"da nasıl meydana gelebildiğini gösterdi. Ne var ki, diğer elementlerin kökeni bir sırdı.

Demirin yapımı

Bu elementlerin kökeninin keşfi, büyük ölçüde Britanyalı astronom Fred Hoyle'un çalışmaları sayesinde yapıldı. 1944'te akademik bir tur sırasında ABD'de önde gelen astronomlarla yapılan rastgele sohbetlerden başlamak üzere, pek çok kimyasal elementin yıldızlarda nükleer reaksiyonlarla –nükleosentez denilen bir süreç– adım adım yaratılmış olabileceği düşüncesini geliştirdi. Hans Bethe, yıldız çekirdeklerinde hidrojenin bileşik oluşturup helyum meydana getirebildiğini 1939'da göstermişti ama demir ve karbon gibi daha ağır elementlerin nasıl olu-

Ayrıca bakınız: Enerji üretimi 182-83 ▪ İlkel atom 196-97

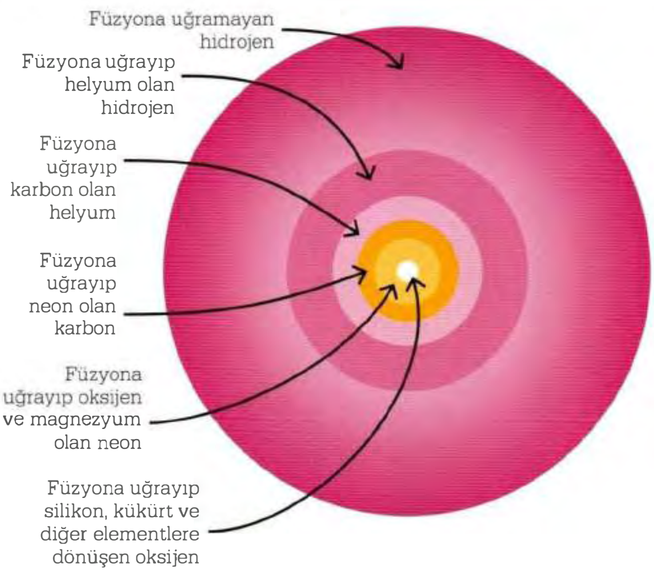
şabildiğine ilişkin hiçbir öneri sunmamıştı: Yıldızların çekirdekleri, bu tür elementlerin nükleer füzyon süreçleriyle oluşmasına yetecek kadar sıcak sayılmıyordu. Ne var ki, Hoyle yeterince büyük bir yıldızın çekirdek sıcaklığını gerekli miktarda yükseltecek süreçler olabileceğini düşündü.

1946'da Hoyle, sıcaklığın milyarlarca dereceye çıktığı devasa yıldız çekirdeklerinde, nükleer termal denge denilen koşullarda ağır elementlerin meydana gelebildiğini gösterdi. Böyle bir yıldız sonunda bir süpernova olarak patlayıp, ağır elementlerini püskürtürdü. Hoyle 1954'te, hidrojen yakıtını tüketen kütleli bir yıldız patlamadan önce, çekirdeğinin nasıl büzülüp ısındığını ve helyum atomlarının füzyona uğrayıp karbon yaratmaya başladığını açıkladı. Bu Evren'in sonunda karbon atomları füzyona uğrayıp daha ağır, daha istikrarlı elementler yaratırdı. Bu süreç, en istikrarlı atom çekirdeğine sahip olan demire kadar birçok elementin yaratılmasını açıklayabilirdi. Demirden ağır çekirdeklerin yapımı daha sorunlu olurdu; çünkü bu enerji tüketen bir süreçti, oysa demirden daha hafif elementlerin yaratılması enerji salımı yapardı.

Daha ileri gelişmeler

Ne var ki, Hoyle'un yıldızlarda element oluşum şemasında bir kusur vardı. Üç helyum çekirdeğinin füzyona uğrayıp karbon meydana getirdiği ve üçlü alfa süreci olarak bilinen temel adım, çok yavaş gibi görünüyordu. Hoyle, bunun daha yüksek bir hızda gerçekleşmesine olanak tanıyan bir mekanizma olması gerektiğini ısrarla belirtti ve 1953'te karbonun bunu açıklayan bir özniteliği keşfedildi.

Hoyle yıldızlarda daha fazla elementin oluşmasına yol açan diğer süreçleri de araştırdı. Bu süreçlerden bazıları, dev bir yıldızın ömrünün sonunda (s. 180-81) bir süpernova patlamasının şiddetinde gerçekleşebilirdi. Bu yüzden Hoyle'un çalışmaları yalnızca kimyasal elementlerin nereden geldiğini değil, Evren'e nasıl dağıldıklarını da açıklamaktaydı. ■



Hoyle yüksek kütleli yıldızlarda, kütle bakımından karbondan demire kadar uzanan birçok elementin, yıldızın çekirdeğinin etrafındaki katmanlarda aynı zamanda gerçekleşen füzyon reaksiyonlarıyla nasıl yaratılabildiğini gösterdi. Yıldız yaşlandıkça katmanların sayısı artardı. Bu diyagram, yaşlanan bir kırmızı süper-devde katmanları element oluşturan reaksiyonlarla birlikte gösteriyor.



Fred Hoyle

Fred Hoyle 1915'te İngiltere'de, Yorkshire'da doğdu. 1933'ten itibaren Cambridge Üniversitesine devam etti, matematik diploması aldı. II. Dünya Savaşında Britanya Donanma Bakanlığında radar sistemleri üzerine çalıştı. 1957'de Hoyle, California'da Hale Gözlemevlerinin kadrosuna katıldı ve ertesi yıl Cambridge Üniversitesinde astrofizik profesörü oldu. Yıldızlarda elementlerin kökeni üzerine çalışmaları dışında, Hoyle Durağan Hal teorisinin savunucusu olarak da ünlüdür. Bu teorinin iddiasına göre, Evren genişledikçe, sürekli yeni madde yaratıldığı için ortalama yoğunluğu sabit kalır. İşin garip yanı, Hoyle popüler bir radyo söyleşisi sırasında "Büyük Patlama" ifadesini rakip teori için uydurdu. 1960'lardan itibaren Durağan Hal teorisi gözden düştü. Ömrünün sonuna doğru, Dünya'ya yaşam getirdiğine inandığı kuyrukluyıldızlarda organik moleküllerin varlığıyla ilgilendi.

Önemli eserleri

1946 *The Synthesis of the Elements from Hydrogen*
1950 *The Nature of the Universe*



YILDIZ OLUŞUMU ALANLARI

YOĞUN MOLEKÜL BULUTLARI

KISACA

ASTRONOM
Bart Bok (1906–1983)

ÖNCE
1927 Amerikalı astronom Edward Barnard, 350 gizemli karanlık bulutsuyu kataloglar.

1941 Lyman Spitzer Jr, yıldızların yıldızlararası maddeden oluştuğunu öne sürer.

SONRA
1980'ler Herbig-Haro Nesneleri, yıldız oluşumu bölgelerinde çok genç yıldızların saldığı plazma fışkırmaları olarak tanımlanır.

1993 Yüksek frekanslı radyo astronomları, Bok küreciklerinde ön-yıldızlar gözlemler.

2010 Spitzer Uzay Teleskobu, 32 Bok küreciğinin iç tarafının kızılaltı görüntülerini alır. Görüntüler 26 küreciğin sıcak çekirdeklerini gösterir ve üçte ikisinde çok sayıda yıldız oluştuğunu, bunlardan her birinin farklı bir oluşun evresinde olduğunu gösterir.

Bart Bok sıra dışı bir gözlem astronomuydu. Kariyerini, görebildiklerini değil, göremediklerini inceleyerek yaptı. 1940'larda Bok yıldız oluşumunun kanıtlarını bulmak için parlak bulutsuları gözlemlerken, tamamen karanlık olan küçük bölgeler fark etti. Etrafları yıldızlarla çevriliydi ama uzayda boş delik gibi görünüyorlardı. 1947'de Bok, ABD'li astronom Edith Reilly ile birlikte, bu cisimlerin kendi kütleçekimlerinin altında çökme sürecinde olan yoğun gaz ve toz bulutları olduklarını ve içeride yeni bir yıldız oluşmakta olduğunu öne sürdü. Silika zerrelerinden, buzdan ve donmuş gazlardan oluşan toz, çevredeki yıldızların ışığını engelleyecek kadar yoğundu. Sonuç olarak, buluttan dışarıya hiçbir ışık çıkmadığı gibi, bulutun ötesindeki yıldızlardan (Dünya'nın perspektifinden) gelen ışık da içeri giremiyordu. Bok ile Reilly bu bulutları, bir gün içinden yeni bir parlak yıldızın çıkacağı tırtıl kozasına benzetti.



Hubble Uzay Teleskobundan çekilen bir fotoğrafta, Karina bulutsularındaki Tırtıl Bok küreciği görülüyor. Yoğun toz ve gaz perdelerinin arkasında yıldızlar oluşuyor.

Karanlık bulutsular

Yoğun bulutlar "Bok kürecikleri" olarak anıldı. Görülebilir ışıkta, ardalanında yıldızlar bulunan bir siluet gibi görünüyorlardı; yayık dış kenarlarından çok az ışık geçiyordu ve yıllarca, ayrıntılı gözlemlemek zor oldu. Böylece, Bok'un ve Reilly'nin önerisi on yıllarca varsayım olarak kaldı. Ne var ki, 1990'larda, Bok'un ölümünden birkaç yıl sonra, kızılaltı ve radyo astronomi toz bulutunun içini görüp, ısı alanlarını ortaya çıkarabildi. Bu alanlar, Bok'un varsayımının doğru olduğunu gösterdi –içeride gerçekten de yıldızlar oluşuyordu.

Ayrıca bakınız: Uzay teleskopları 188-95 ▪ Dev moleküler bulutların içi 276-79 ▪ Ambartsumian (Rehber) 338



Şimdi Bok kürecikleri, büyük bölümü Samanyolu'nun sarmal kollarında bulunan, "karanlık moleküler bulut"un küçük ve yoğun bir tipi olarak görülüyor. Yaklaşık bir ışık yılı genişliğindedirler ve H II bölgelerinde –düşük-yoğunluklu iyonlaşmış hidrojen atomlarıyla dolu yıldızlararası uzaylar– bulunurlar. H II bölgeleri, süper-dev mavi yıldızların morötesi emisyonları ortamı (yıldızlararası uzaydaki madde) iyonlaştırınca – atomları elektronlarından yoksun bırakıp pozitif yüklü iyonlar yaratınca– oluşur.

Soğuk bulut

Bok kürecikleri, Güneş'in kütlesinin yaklaşık 50 katı ağırlığındadır. Büyük ölçüde moleküler hidrojen (H_2) içerirler ama yaklaşık yüzde 1'i tozdur. Toz, çoklu moleküllerden oluşan parçacıklar içerir ve oldukça yoğundur. Tozun karartıcı etkisi, küreciğe ısı girişini engeller ve içerideki sıcaklık, Evren'de ölçülmüş en düşük sıcaklıklar arasındadır – yaklaşık 10 Kelvin. Soğuk gazın dış basıncı, içeriye doğru kütleçekimden daha zayıftır ve yakındaki bir süpernovadan gelen bir şok dalgası, soğuk bulutların çökmesini sağlayabilir. Sonra sıcak bir yıldız çekirdeği oluşana kadar giderek daha fazla yoğunlaşır. ▪

> Yıllarca Samanyolu galaksisinin gece bekçiliğini yaptım.
> **Bart Bok**



Bart Bok

Bartholomeus Jan Bok, 1906'da Amsterdam yakınlarında doğdu. Astronomiye ilgisi, kentten uzak berrak gökyüzünde yıldızları gözlemleyebildiği izci kamplarında başladı. Bok akademik kariyerine iki Hollanda üniversitesinde, önce Leiden'de, sonra doktora öğrencisi olarak Groningen'de başladı. 1929'da çalışmalarını Harvard'a aktarmayı tercih etti ve Harlow Shapley'in gözetiminde çalıştı. ABD'ye geldikten iki gün sonra Sharpley'in araştırmacılarından Priscilla Fairfield'e âşık oldu ve onunla evlendi. Ondan sonra çift birlikte çalıştı ama Shapley yalnızca Bok'a maaş ödedi.

Boklar, 1957'de Avustralya'da Canberra'da bir gözlemevi kurmaya davet edilmeden önce 30 yıl Harvard'da çalıştı. 1966'da ABD'ye dönüp, güneybatı gözlemevlerini yönettiler. Priscilla 1975'te öldü. Bart, 1983'te ölene kadar çalışmalarını sürdürdü.

Önemli eserleri

1941 *The Milky Way* (Priscilla Fairfield Bok ile birlikte).

EVREN'İ
PENCER
1950–1975

DE YENİ
ELER

1950

Hollandalı astronom **Jan Oort,** Güneş Sisteminin kenarında Güneş'in yörüngesinde dönen bir **kuyrukluyıldız bulutunun** bulunacağını öne sürer.

1959

Guiseppe Cocconi ve **Philip Morrison,** elektromanyetik tayfta **uzaylılardan gelen mesajları** aramak için bir yer önerir.

1961

ABD Kongresinde yaptığı bir konuşmada Başkan **John F. Kennedy,** on yılın sonunda **Ay'a bir insan gönderme** niyetini açıklar.

1962

Sovyet astronom **Josif Shklovsky** *Universe, Life, Intelligence* kitabında, **Dünya-dışı yaşamlara** ilişkin tahminlerde bulunur.

1963

Hollandalı astronom **Maarten Schmidt,** 1960'ta radyo astronomlarının keşfettiği **kuasarların** uzak galaksi olduklarını tanıtlar.

1964

ABD'li astronomlar **Arno Penzias** ve **Robert Wilson** Büyük Patlamanın kanıtını, **kozmik mikrodalga ardalan ışımasını keşfeder.**

1957'de Sovyetler Birliği'nin ilk yapay Dünya uydusu Sputnik 1'i fırlatması, hem siyasal hem de bilimsel bakımdan tarihte bir dönüm noktasıydı. Siyasal bakımdan "uzay yarışını" –Sovyetler Birliği ile Amerika Birleşik Devletleri arasında uzayda üstünlük savaşını– kışkırttı. Bilimsel bakımdan, astronomiye yeni olanaklar açtı. Yörüngeye teleskoplar yerleştirilebilir, teleskoplara Dünya'nın atmosferince engellenmeyen bir görüş olanağı sağlanabilirdi. Gezegenleri ve yakındaki diğer cisimleri incelemek üzere Güneş Sistemine robot kaşifler gönderilebilirdi. NASA'nın başka bir gezegene ilk başarılı misyonu olan Mariner 2, 1962'de Venüs'e doğru fırlatıldı.

Bu arada, uzaya insan gönderme projeleri devam ediyordu. 1961'de Sovyet kozmonot Yuri Gagarin, Dünya'nın yörüngesinde dönen ilk insan oldu. Dört yıl sonra Amerikalılar Ay'a insan göndermeyi başardı. Erken Güneş Sisteminin oluşumuna yeni ışık tutacak uydularımızı kendileriyle birlikte geri getireceklerdi.

Uzaydan görüş

20. yüzyılın ortasına kadar astronomlar atmosferin en dar "pencerelerinden" bakıp, yalnızca görülebilir ışığı görüyorlardı. Dünya'nın atmosferi, elektromanyetik tayfın yalnızca iki bölümü için geçirgendir: görülebilir ışık dediğimiz dar dalga bandı (her bir yanında biraz morötesi ve kızılaltı ışıkla birlikte) ve radyo bandı. Astronomların, sıcak, yüksek enerjili kozmik kaynaklardan gelen ve Dünya'nın atmosferince soğurulan yoğun morötesi, X- ve gama ışınları hakkında bilgi sahibi olma araçları yoktu. Evren'in bebek yıldızlar gibi soğuk ve gizli bileşenleri de pusuda, kızılaltı ışımalarının keşfedilmesini bekliyorlardı.

Radyo astronomi

Yerde konuşlanmış gözlemcilere açık "görünmez astronominin" ana türü, radyo astronomidir. 1930'larda belli belirsiz başlangıçtan sonra, bu alan 1950'lerde hızla gelişti. II. Dünya Savaşı sırasında radyo biliminde çalışan bilim insanları, Birleşik Krallık'ta Cambridge ve Manchester'dakiler gibi, astronomi araştırma gruplarının kurulmasında etkili oldular. Aşağı yukarı aynı sırada Amerika Birleşik Devletleri'nde Harvard'daki astronomlar da, yıldızlararası uzaya egemen olan hidrojen gazından çıkan radyo emisyonlarını tanımladı. Bu keşif, galaksimizin sarmal yapısının ilk kez haritalandırılmasına olarak verdi.

1964

Britanyalı matematikçi **Roger Penrose** kara deliklerin kalbindeki uzayzaman **"tekilliklerini"** açıklar.

1967

Cambridge Üniversitesinde araştırma öğrencisi **Jocelyn Bell** kendi etrafından hızla dönen bir nötron yıldızından, bir **pulsardan** gelen radyo sinyalini saptar.

1968

İlk başarılı yörünge gözlemevi **OAO-2,** NASA tarafından fırlatılır. **Morötesi teleskoplarla** donatılır.

1969

Apollo 11, Neil Armstrong Ay'a ayak basınca Başkan Kennedy'nin projesini tamamlar.

1969

Sovyet astrofizikçi **Victor Safronov,** Güneş Sisteminin oluşumuna ilişkin **bulutsu varsayımının** arkasındaki matematiği ortaya çıkarır.

1973

NASA, yörüngeye oturtulacak ilk **X-ışını teleskobu** olan **Uhuru** gözlemevini fırlatır.

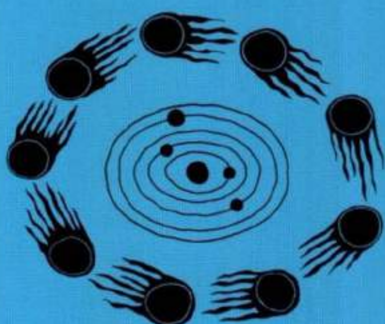
1960'larda radyo astronomları yeni kuasar ve pulsar fenomenlerini keşfetti. Bu "yıldızsı radyo kaynakları"nın –ya da kısaca kuasarlar– uzak galaksi olduklarını, merkezlerinde bol miktarda enerji üreten büyük bir kara delik bulunduğunu biliyoruz. Pulsarlar, yüksek hızla kendi etrafında dönen nötron yıldızlarıdır –tuhaf sıkışık madde topları. Keşfedilmeleri, on yıllar önce yapılan teorik öngörüleri doğruladı.

Bütün pencereler sonuna kadar açık

1970'lerin başına gelindiğinde ilk yörüngeli gözlemevleri çalışıyor, gökyüzünde morötesi, X- ve gama ışını araştırıyordu. Küçük Astronomi Uyduları (Small Astronomy Satellites –SAS) ve Yörüngeli Astronomik Gözlemevleri (Orbiting Astronomical Observatires –OAO) gibi programlar altında bir dizi uydu fırlatıldı. Bunların arasında, X-ışını astronomisi için 1970 SAS-1 (fırlatıldığı yer olan Kenya'nın onuruna Swahili dilinde özgürlük anlamına gelen Uhuru adı verildi) ve OAO-3 (500. doğum gününden ötürü Copernicus adı verildi) de vardı. Yörüngeden kızılaltı astronomiye ulaşmak, teleskobu çok soğuk tutmak gerektiği için daha uzan zaman aldı ama kızılaltı gökyüzüne ilişkin ilk incelemeler yerden yapıldı.

> Evren'in karşı yakasında, oldukça önemsiz Dünya gezegenine sinyal göndermeye karar veren küçük yeşil insanların var olma olasılığı çok düşüktür.
>
> **Jocelyn Bell Burnell**

Şimdi elektromanyetik tayfın bütün bölümleri araştırmaya açıktır ve nötrino olarak bilinen uçucu parçacıklar bile avlanmaya açıktır. Güneş Sistemindeki diğer dünyalar, gelecekteki misyonların hedefi olmuştu. Otuz yıl içinde yeni teknoloji, astronomların Evren'e bakışını dönüştürmüştü. ■



GÜNEŞ SİSTEMİNİN ETRAFINI GENİŞ BİR BULUT SARAR

OORT BULUTU

KISACA

ASTRONOM
Jan Oort (1900–1992)

ÖNCE
1705 Edmond Halley, bir kuyrukluyıldızın geri dönüşünü doğru bir şekilde öngörür.

1932 Estonyalı astronom Ernst Öpik, uzun periyotlu kuyrukluyıldızların Güneş Sisteminin kenarında yörüngeli bir buluttan geldiğini öne sürer.

1943 Kenneth Edgeworth Güneş Sisteminin Neptün'ün yörüngesinin ötesinde, bazıları kuyrukluyıldız haline gelen çok sayıda küçük cisim tarafından işgal edildiğini öne sürer.

1950 Fred Whipple, kuyrukluyıldızların bir buz ve kayaç malzeme yığını olduğunu öne sürer.

SONRA
1992 David Jewitt ve Jane Luu, Plüton tışında ilk Kuiper kuşağı nesnesini keşfeder.

2014 Rosetta uzay aracının iniş takımı Philae, 67P/ Churyumov-Gerasimenko kuyrukluyıldızına iner.

1950'de, Estonyalı astrofizikçi Ernst Öpik'in önerdiği bir teoriyi canlandıran Hollandalı astronom Jan Oort, Güneş Sisteminin kenarında bir kuyrukluyıldız deposu bulunduğunu savundu. O sırada iki ana kuyruklu yıldız sınıfının iç Güneş Sistemini –dört kayaç gezegeni içeren bölge– ziyaret ettiği biliniyordu. Kısa periyotlu kuyrukluyıldızlar 200 yıldan kısa aralıklarla ziyaret eder ve gezegenlerin bulunduğu düzlemde yörüngede dönerler. Uzun periyotlu kuyrukluyıldızlar 200 yıldan uzun aralıklara ziyarette bulunur ve Güneş Sistemi düzlemine her açıdan ve her yönden yörüngede dönerler. Her iki sınıfın kökeni de tahmin konusudur.

Uzun periyotlu kuyrukluyıldızlar

Oort'un düşüncesi, uzun-periyotlu kuyrukluyıldızların kökeni sorununa bir çözüm sunuyordu. İç Güneş Sistemini periyodik olarak ziyaret eden bir kuyrukluyıldız sonunda Güneş'le ya da bir gezegenle çarpışacak ya da bir gezegenin yanından geçerken yörüngesi bozulduktan sonra Güneş Sisteminden atılacaktı. Yani; kuyrukluyıldızlar, Güneş Sistemi oluştuğundan beri yörüngelerinde dolaşmış olamazlar. Oort, İç Güneş Sistemine geçen uzun periyotlu kuyrukluyıldızların, Güneş'in etrafında yörüngede dönen bütün kuyrukluyıldızların küçük bir alt-kümesi olduğunu öne sürdü. Dünya'dan görülen kuyrukluyıldızlar, uzak kuyrukluyıldız deposundan, olasılıkla oradan geçen bir yıldız tarafından itilmiş ve Güneş'e doğru düşerek, uzun, eliptik yörüngeler almıştır.

Küresel bulut

Çok sayıda uzun periyotlu kuyrukluyıldızın yörüngelerini ve Güneş'ten uzaklaştığı en uzak mesafeyi inceleyen Oort, uzun periyotlu yıldızlar deposunun kabuğa benzer, Güneş'ten 7,5-30 trilyon kilometrelik bir maksimuma kadar uzanan küre biçiminde bir bölge olduğu sonucuna vardı. Milyarlarca ya da trilyonlarca kuyrukluyıldız içerdiği düşünülen bu bölge, şimdi Oort bulutu olarak bilinmektedir. Bununla birlikte, kısa periyotlu kuyrukluyıldızların olasılıkla Güneş'e çok daha yakın diske benzer bir bölgeden, Kuiper kuşağından geldikleri belirlenmiştir. ■

Ayrıca bakınız: Halley kuyrukluyıldızı 74-77 ▪ Kuiper kuşağı 184 ▪ Kuyrukluyıldızların bileşimi 207 ▪ Neptün'ün ötesini araştırmak 286-87



KUYRUKLUYILDIZLAR KİRLİ KARTOPLARIDIR

KUYRUKLUYILDIZLARIN BİLEŞİMİ

KISACA

ASTRONOM
Fred Whipple (1906–2004)

ÖNCE
1680 Alman astronom Gottfried Kirsch teleskop kullanarak bir kuyrukluyıldız bulan ilk kişi olur.

1705 Edmond Halley, 1682'deki kuyrukluyıldızın 1531 ve 1607'deki kuyrukluyıldızlarla aynı olduğunu gösterir.

SONRA
2003 *Astrophysical Journal*'ın bir araştırması, Whipple'ın 1950 ve 1951'de kaleme aldığı metinlerin 50 yıl içinde astronomide en çok atıfta bulunulan metinler olduklarını ortaya çıkarır.

2014 Rosetta, 67P/Churyumov-Gerasimenko kuyrukluyıldızıyla buluşmasını gerçekleştirir ve yüzeyine Philae aracını gönderir.

2015 Yeni araştırmalar kuyrukluyıldızların, kabuğu buzlu, içi daha soğuk ve daha gözenekli, üstünde organik bileşiklerden oluşan bir sos bulunan "kızartılmış dondurma"ya benzediğini gösterir.

Bir kuyrukluyıldızın gelişi görülmeye değer bir olay olabilir; en parlakları gündüz bile görülebilir. Ama ABD'li astronom Fred Whipple bu göz kamaştırıcı yıldız benzeri ziyaretçilerin, aslında son derece karanlık nesneler olduklarını gösterdi.

1950'de Whipple, kuyrukluyıldız çekirdeklerinin –Dünya'dan görülen parlak, gaz benzeri kuyruklara karşıt olarak erken Güneş Sistemi kalıntılarından oluşan "cisimler"– meteorik malzeme ile değişken buzların kaba bir karışımı olduğunu öne sürdü. Söz konusu buz kısım karbondioksit, karbonmonoksit, metan ve amonyak gibi donmuş gazlarla birlikte esas olarak donmuş sudur. Gerisi kaya ve tozdur. Yüzeyini, ham petrole benzer, katranlı organik bileşiklerden oluşan siyah bir kabuk kaplar. Kuyrukluyıldız çekirdekleri, Güneş Sistemindeki en karanlık nesneler arasındadır. Üzerlerine düşen ışığın yalnızca yüzde 4'ü yansır. Yeni atılmış siyah asfalt, yaklaşık iki katı daha fazla ışık yansıtır.

Whipple'ın "buz yığını" kavramı, kuyrukluyıldızların Güneş'i geçerken arkalarında nasıl buharlı kuyruk oluşturabildiklerini açıklamaktaydı. Bu düşünce, aldatıcı "kirli kartopları" adıyla da olsa kabul edildi (daha sonra kuyrukluyıldızların buzdan çok toz içerdiği keşfedilince, adı değiştirilip "buzlu çamur topu" olarak değiştirildi). Ne var ki, Whipple, düşüncelerinin doğrulanması için 1986'yı beklemek zorunda kaldı. O yıl, Giotto uzay aracı Halley kuyrukluyıldızına yanaşıp, genellikle parlak püskülün gizlediği karanlık çekirdeğin yakından resimlerini çekti. ■



Giotto uzay aracından alınan görüntüler, Halley kuyrukluyıldızının çekirdeğinin iki parlak malzeme püskürten, fıstık şeklinde karanlık bir cisim olduğunu ortaya çıkardı.

Ayrıca bakınız: Halley kuyrukluyıldızı 74-77 ▪ Asteroidler ve meteoritler 90-91 ▪ Astronomi fotoğrafçılığı 118-19 ▪ Kuiper kuşağı 184



YILDIZLARA GİDEN YOL AÇIKTIR

SPUTNİK'İN FIRLATILMASI

KISACA

ASTRONOM
Sergei Korolev (1907–1966)

ÖNCE
1955 ABD, Uluslararası Jeofizik Yılı için bir uydu fırlatmayı planladığını duyurur.

1955-57 ABD'nin işe aldığı eski Nazi roket-bilimci Wernher von Braun, bir uyduyu yörüngeye taşıyabilen Jüpiter-C roketini fırlatır.

SONRA
1957 Sputnik-2'ye binen köpek Laika, uzaya giden ilk büyük hayvan olur.

1958 Juno 1, ilk ABD uydusu Explorer 1'i fırlatır.

1961 Yuri Gagarin, Vostok 1'le Dünya'nın yörüngesine oturur.

1963 Valentina Tereşkova uzaya çıkan ilk kadın ve ilk sivil olur.

1965 Voshod 2, uzaya iki kişi taşıyan ilk araç olur; Alexei Leonov ilk uzay yürüyüşünü yapar.



Tasarımını Korolev'in yaptığı Vostok 1, 12 Nisan 1961'de Yuri Gagarin'i Baikanur Uzay Üssünden fırlattı. Gagarin uçuş sırasında "yukarıda herhangi bir Tanrı görmüyorum" dedi.

Dünya'nın ilk yapay uydusu Sputnik 1'in 1957'de fırlatılmasıyla birlikte, Sovyetler Birliği, süper güçlerin Uzay Yarışında ilk turu kazandı. Çok önemli bu başarıya, bir kişinin itici gücüyle ve dehasıyla ulaşıldı: sert ve pragmatik "Baş Tasarımcı" Sergei Korolev, çok gizli uzay programının beyni olan bilim insanı. 1991'de Sovyetler Birliği çökene kadar, Batıda Korolev hakkında çok az şey biliniyordu. Sovyetler, Amerikalıların öldürebileceğinden korktukları için, onu yalnızca "Baş Tasarımcı" olarak tanıtmıştı.

Korolev uçak tasarımcısı olarak yetişmişti ama gerçek yeteneği, aşırı siyasal baskı altında büyük ve karmaşık projeleri stratejik olarak planlama alanındaydı. 1957'e gelindiğinde, 1953'te dünyanın ilk kıtalararası balistik füzesinin fırlatılmasıyla birlikte hanesine önemli bir "ilk"i zaten yazdırmıştı. Olağanüstü başarılı bir meslek yaşamı süresince, her

Ayrıca bakınız: Uzay Yarışı 242-49 ▪ Güneş Sistemini araştırmak 260-67 ▪ Mars'ı araştırmak 318-25

> Bir gün gelecek, insan taşıyan bir uzay aracı Dünya'dan ayrılıp uzak gezegenlere –uzak dünyalara– gidecek.
> **Sergei Korolev**

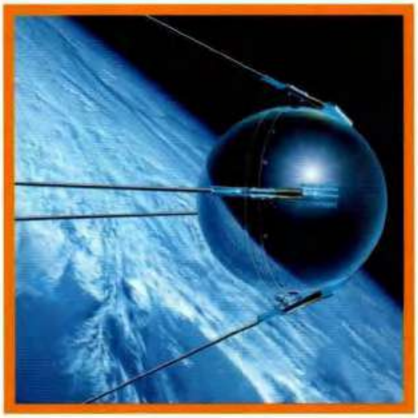
seferinde ABD'yi şaşırtan birkaç ilke daha imza atacaktı. (Sovyet uzay ajansı kendi planlarını gizli tutarken, ABD planlarının basın toplantılarıyla duyurulması da bu konuda yardımcı olmuştu.) 1957'de Korolev bir köpeği, Laika'yı uzaya fırlatıp, 1961'de ilk erkeğin ve 1963'te ilk kadının uzaya çıkmasının yolunu hazırladı. Bunu, iki yıl sonra ilk iki kişilik tayfa ve ilk uzay yürüyüşü izledi.

Uzay Yarışı

Ne var ki, Amerikan kamuoyu üzerinde en büyük etkiyi, 4 Ekim 1957'de Sputnik 1'in fırlatılması yaptı. Rusya, ABD medyasında sürekli geri bir ülke olarak karikatürleştirilmekteydi ama Sputnik'in fırlatılması, Sovyetlerin teknolojik üstünlüğünün inkâr edilemez kanıtıydı ve çok geçmeden Soğuk Savaş paranoyasını körükledi. Yörüngede dönen "kırmızı ay" Amerikan kentleri üzerine nükleer bomba yağma olasılığını yükseltti ve bunun yarattığı korkular, ABD Başkanı Eisenhower'ın siyasal rakiplerince kullanıldı.

Sovyetler 1961'de ilk insanı uzaya gönderince, öğleden önce saat 4:30'da telefonla uyandırılan NASA'nın basın sözcüsü, "Hepimiz uykudayız" dedi. Ertesi günün manşeti şöyleydi: "Sovyetler uzaya insan gönderiyor. Sözcü, ABD'nin uyuduğunu söylüyor." Algılanan teknolojik uçurum, ABD uzay programını ateşledi ve Apollo misyonlarıyla sonuçlandı.

1966'da Korolev'in ani ölümüyle birlikte, Sovyetlerin galibiyet serisi son buldu. Uzay programları, büyük, karmaşık bir girişimi bir arada tutan manyetik kişiliği kaybetmiş, siyasete ve bürokrasiye bulaşmıştı. Acaba dümende Korolev olsaydı, Ay'a ilk insanı Sovyetler Birliği gönderebilir miydi? Ama ABD inisiyatifi ele aldı ve Temmuz 1969'da bu amaca ulaştı. ■



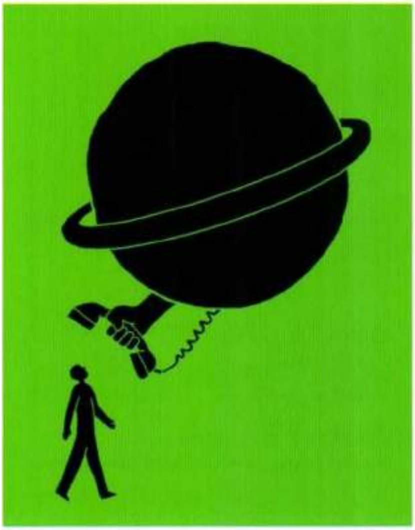
Sputnik 1, radyo, pil ve bir termometre içeren görece basit bir araçtı. ABD üzerindeki psikolojik etkisi ise çok büyüktü.



Sergei Korolev

1906'da doğan Sergei Pavloviç Korolev uçak tasarımı öncüsü Andrei Topolev'in gözetiminde okudu ve 1930'ların ortasında Rusya'nın Jet fırlatma Araştırma Enstitüsünde başmühendis oldu. Ne var ki, 1938'de Stalin'in başlattığı tasfiye sürecinin kurbanı oldu. Meslektaşlarınca ihbar edilen Korolev işkence gördü ve Doğu Sibirya'da çalışma kampına gönderildi; orada bir altın madeninde çalıştı ve iskorbüt hastalığına yakalandı.

1944'te serbest bırakıldı ve gizli Bilimsel Araştırma Enstitüsü No. 88'in başkanlığına atandı. Korolev, Sputnik 1 –o sırada Amerikalıların fırlatabileceğinden daha ağır bir yapay uydu– düşüncesiyle siyasal destek kazandı. İriyarı olan Korolev'in asabi bir mizacı vardı ve küfürbazlığa yatkındı. Ama dev gibi cüssesine ve sınırsız enerjisine rağmen, göründüğünden daha zayıftı. Korolev çalışma kampında bir kalp krizi geçirmişti. Boynunu döndüremiyordu ve çenesi o kadar kötü kırılmıştı ki, gülerken acı çekiyordu. 1966'da rutin bir bağırsak ameliyatı sırasında öldü.



YILDIZLARARASI İLETİŞİM ARAYIŞI

RADYO TELESKOPLARI

KISACA

ASTRONOMLAR
Giuseppe Cocconi (1914–2008)
Philip Morrison (1915–2005)

ÖNCE
1924 Mars'lıların olası mesajlarını almak için "Ulusal Radyo Sessizliği Günü" ilan edilir.

1951 ABD'li fizikçiler Harold Ewen ve E. M. Purcell, 21 santimetre hidrojen ışınımını saptar.

SONRA
1961 Frank Drake, Güneş Sisteminin ötesinde akıllı uygarlıklar bulunma olasılığını hesaplamak için Drake Denklemini formüle eder.

1977 Ohio Üniversetisinde Jerry Ehman, ardalan gürültü düzeyinin 30 katı keskin bir sinyal yakalar. Bu "Vay be! sinyali" bir daha hiç saptanmadı.

1999 SETI@Home ağı, milyonlarca gönüllü masaüstü bilgisayarın bileşik gücünü kullanır.

Eylül 1959'da bilim dergisi *Nature* kısa ama çok etkili bir makale yayımladı: Giuseppe Cocconi ve Philip Morrison'ın yazdığı *Searching for Interstellar Communications*. Bu, tamamen yeni bir bilimsel çalışma alanı açtı –Dünya-dışı yaşamın doğası ve akıllı varlıkların var olma olasılığı üzerine spekülasyon. Bilim tarihinde ilk kez uzaylı avı, ciddi bir öneri olarak ifade edilmişti.

1957'de İngiltere'de Jodrell Bank'ta 76 metrelik Mk 1 radyo teleskobunun –dünyanın ilk yapay uydusu Sputnik 1'i izlemek için tam zamanında– tamamlanması, yeni olanaklar doğurmuştu. Böyle bir teleskop güçlü bir vericiyle donatılsa, yıldızlararası mesafelerde, uygun teknolojiye ulaşmayı başarmış herhangi bir uygarlıkla iletişim kurabilirdi. Cocconi ve Morrison'ın makalesinin öne sürdüğüne göre, uzak bir yıldızın yörüngesinde dönen bir gezegende gelişmiş toplumlar şu anda temas kurmaya çalışıyor olabilir. Mikrodalga tayfta sinyal aramayı, akıllı yaşam aramaya başlamak için olası frekanslar, hatta potansiyel yerler saptamayı önerdiler.

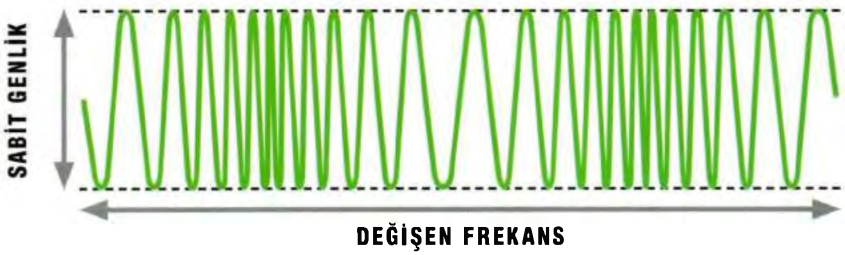
Evren'de başka **akıllı yaşam** varsa, **iletişim kurmaya** çalışıyor olabilirler.

Yeni **radyo teleskopları,** radyo tayfında **mesaj aramayı** olanaklı kılıyor.

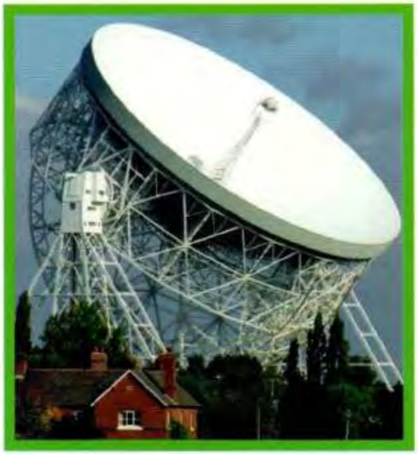
Radyo bandında **hidrojen atomlarının** yaydığı **21 santimetre dalga boyu** bütün Evren'de aynıdır.

Yıldızlararası iletişim arayışını bu dalga boyunda başlatın.

Ayrıca bakınız: Diğer gezegenlerde yaşam 228-35 ▪ Öte-gezegenler 288-95



Modülasyon, bir dalga sinyali içinde bilgi iletme yöntemidir. Frekans değişirken, genlik sabit tutulur.



Lovell (Mk 1) radyo teleskobu, dünyanın üçüncü en büyük radyo teleskobu, 1990'larda ve 2000'lerde Project Phoenix SETI programının bir parçası olarak kullanıldı.

Bakılacak bir yer

Cocconi ve Morrison "21 santimetre çizgisi"ne, bir hidrojen atomunun ışınım emisyonu çizgisine (karakteristik dalga boyu) odaklandı. Yüksek frekanslı radyo (mikrodalga) bandında, bir hidrojen atomumun içindeki protonlar ve elektronlar enerji durumlarını değiştirince, bu 1420 MHz ışınım yayılır. 1951'de bunun keşfedilmesi, görünür ışıktan farklı olarak toz bulutlarıyla engellenmeyen radyo dalgaları kullanılarak, galaksideki hidrojen dağılımının haritasını çıkarmayı olanaklı kıldı.

Cocconi ve Morrison'a göre, bu çizgi Evrensel olduğu için, bütün akıllı uygarlıklar tarafından bilinirdi ve her araştırma, bu frekans bandı etrafındaki iletimleri aramakla başlamalıdır. En olası iletim biçimini öngördüler –imdat çağrısına benzer bir döngü üzerinde, bir FM radyo sinyaline benzer sinyal-genişlik-modülasyonlu dalga. Modülasyonlu dalga sabit bir genlik taşır ama yüksek frekanslı düzenli atımlar üretir. Bir sinyal uzun dönemler, belki yıllarca döngü halinde dolaşabilirdi.

Gelecek araştırmalar

Cocconi ve Morrison'ın düşünceleri, Dünya-dışı zekâ arayışına (SETI) on yıllarca egemen oldu. Makalenin önerilerine göre hareket eden Frank Drake'nin, West Virginia'da Green Bank gözlemevinde 1960'ta öncülük ettiği Project Ozma deneyi, Güneye benzeyen Tau Ceti ve Epsilon Eridani yıldızlarını hedef alıp, 21 santimetre çizgisinin etrafını taradı. Ne yazık ki, proje inandırıcı bir aday bulamadı. Bugün birçok kişi, böylesine sınırlı aramaların akıllıca olup olmadığını sorgulamaktadır. Onun yerine SETI araştırmacıları ileri uygarlıkların kimyasal ya da termal imzalarını, bizi amaçlamayan sinyallerden sızıntılar, lazer ya da nötrino kullanan yeni iletişim yöntemleri arıyorlar. ■

Giuseppe Cocconi and Philip Morrison

Giuseppe Cocconi 1914'te İtalya'da, Comoda doğdu. II. Dünya Savaşı'ndan sonra New York'ta Cornell Üniversitesi'ne girdi. Karısı Vanna ile birlikte çalışan Cocconi, kozmik ışınların galaksi ve galaksi-dışı kökenlerini tanıtladı. Daha sonra, Cenevre'de CERN'de (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) araştırma müdürü oldu.

Philip Morrison California Üniversitesinde Robert Oppenheimer'in gözetiminde eğitim gördü. II. Dünya Savaşı sırasında ilk atom bombasını yapacak Manhattan Projesinde çalıştı ve test yerine taşınırken Trinity bombasının çekirdeğiyle aynı arabaya binmesi ünlüdür. Daha sonra nükleer-karşıtı kampanyanın sözcülerinden biri oldu. Bilimin popülerleşmesine büyük katkıda bulundu ve 1977'de *Powers of Ten* belgeselini anlattı.

Önemli eserleri

1959 *Searching for Interstellar Communications*



METEORİTLER ÇARPMA SIRASINDA BUHARLAŞABİLİR

KRATERLERİ ARAŞTIRMAK

KISACA

ASTRONOM
Eugene Shoemaker
(1928–1997)

ÖNCE
1891 Amerikalı jeolog Grove Gilbert, Ay'daki kraterlerin meteorit çarpmalarının sonucu olduğunu öne sürer.

1891 Mineralog Albert E. Foote, kraterin ilk jeolojik açıklamasını üretir.

SONRA
1980 Amerikalı fizikçi Luis Alvarez, Kretase ve Tersiyer dönemler arasında dünya çapında şoklanmış (bastırılmış) bir kuvars tabakasının, dinozorların soyunun tükenmesine yol açan büyük bir çarpmaya işaret ettiğini öne sürer.

1994 Shoemaker-Levy kuyrukluyıldızı Jüpiter'e çarpar ve gezegene doğru yol alırken Galileo uzay aracı tarafından gözlemlenir.

Amerikalı jeolog Eugene Shoemaker'ın gezegen bilimine katkısı o kadar büyüktü ki, külleri Ay'a gönderilen tek kişidir. Uzaydaki dünyaları araştırmak için jeolojinin tekniklerini kullanan bir bilim olan astrojeolojinin kurucularındandı.

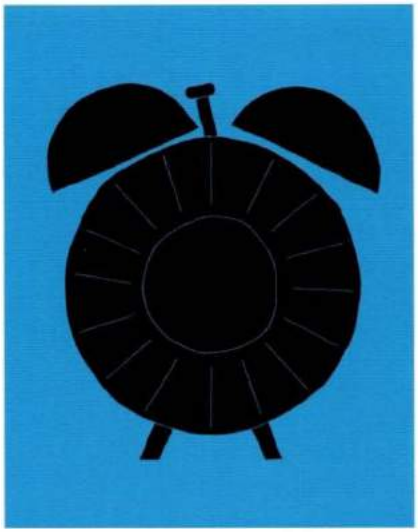
Shoemaker'ın ilk çalışmaları Arizona Çölünde Meteor Krateri olarak bilinen bir kraterle ilgiliydi. Yakındaki Diablo Kanyonuna yerleşen ilk Avrupalılar, kraterin eski bir yanardağın ağzı olduğuna inandılar.

> Ay'a gidip çekicimle vuramamak, yaşamda en büyük düş kırıklığım olmuştur.
> **Eugene Shoemaker**

1880'lerde oradan geçen demiryolu mühendisleri çölün her tarafına dağılmış demir bakımından zengin büyük kayalar buldular; bu, kraterin, metalik bir meteoridin çarpması sonucu oluştuğunu göstermekteydi. Ne var ki, kasnağın etrafındaki döküntülerin hacmi ile kraterin hacmi büyük ölçüde denk olduğu için, bu durum önemsenmedi. Meteorit yoksa, meteor krateri de olamazdı.

1903'te maden mühendisi Daniel Barringer krater zemininin altında demir meteor aradı ama bir şey bulamadı. Shoemaker 1960'a kadar hiçbir kanıt bulamadı. Krater, daha önce yalnızca nükleer bomba deneme alanlarında görülen şoklanmış silika içerir. Bu mineraller, volkanik kuvvetler tarafından doğal yolla meydana getirilmiş olamaz: Yalnızca saatte 60.000 kilometre hızla yol alan bir meteoridin enerjisi bunu yapabilirdi. Bu enerji meteoridi buharlaştırmıştı; kayıp olmasının nedeni buydu. Shoemaker büyük meteoritlerin Dünya'ya çarptığının ilk kanıtlarını sunmuş, Dünya-dışı nesneleri araştırmak için yeni olanaklar sağlamıştı. ■

Ayrıca bakınız: Asteroidler ve meteoritler 90-91 ■ Ceres'in keşfi 94-99 ■ Kuyrukluyıldızların bileşimi 207



GÜNEŞ BİR ÇAN GİBİ ÇINLAR

GÜNEŞ'İN TİTREŞİMLERİ

KISACA

ASTRONOM
Robert Leighton (1919–1997)

ÖNCE
1954 Kanadalı astronom Harry Hemley Plaskett Güneş'in salınım etkisini gözlemler.

SONRA
1970 Amerikalı fizikçi Roger Ulrich, salınımların Güneş'in içindeki ses dalgalarından kaynaklandığını öne sürer.

1970'ler Helyosismoloji, Güneş'in içini araştırmak için yeni bir yol açar.

1995 Güneş'i gözlemleme uydusu SOHO fırlatılır.

1997 SOHO ekibi konvektif bölgede plazma "jet akımları" keşfeder.

1990-2000'ler Güneş'in yüz binlerce titreşim tarzı saptanır.

2009 Kepler uydusu, öte-gezegenlerdeki koşulları açıklamak için Güneş'e benzer yıldızlardaki salınımları ölçer.

1960'ta Amerikalı fizikçi Robert Leighton kendisinin yaptığı bir kamerayla gözlemler yaptı ve kendi ifadesiyle Güneş'in "bir çan gibi çınladığını" keşfetti. Robert Noyes ve George Simons'la birlikte çalışan Leighton, Doppler kaymalı Güneş kameraları kullanarak Güneş yüzeyinin tedirginliklerini elde etti. Bu kameralar, dış tabakası Dünya'ya yaklaştıkça ya da uzaklaştıkça Güneş'in soğurma tayflarının frekanslarında meydana gelen küçük kaymaları saptamaktaydı.

Beş-dakika salınımları

Ortalama beş dakika periyotlu titreşimlerin ("5-dakika salınımları" olarak bilinir) karmaşık örüntülerinin, ilk önce bir yüzey fenomeni olduğu sanıldı. Sonra 1970'te Roger Ulrich bunları, Güneş'in içinde bir taraftan diğer tarafa sekerek yıldızın yüzeyinin titreşmesine neden olan kapalı ses dalgaları olarak açıkladı.

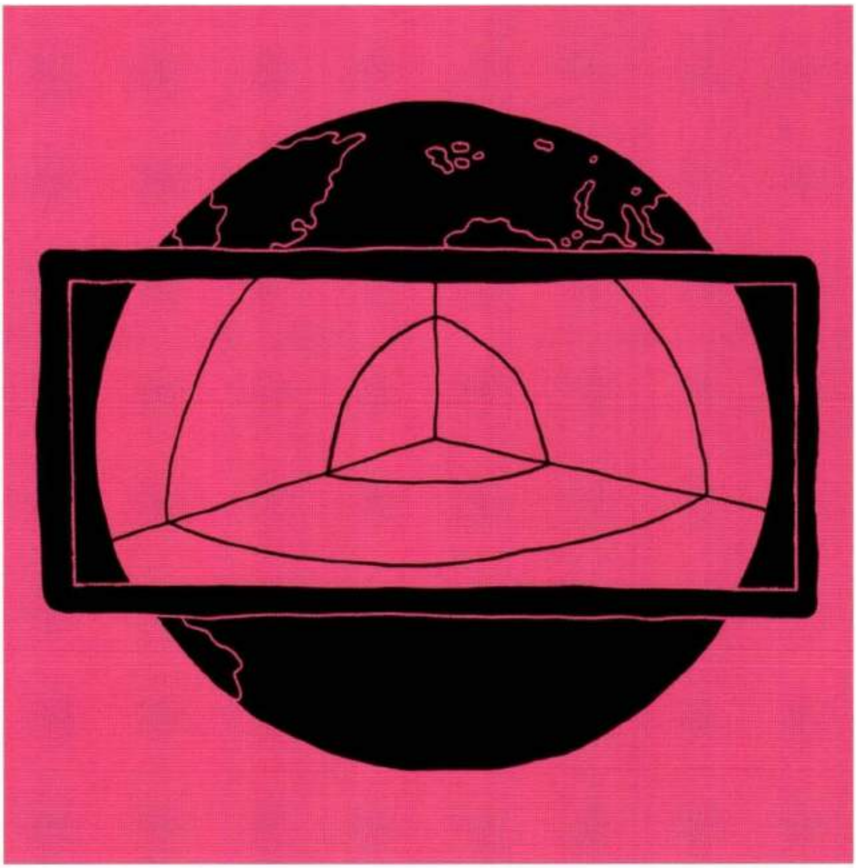
Bugün bu dalgalar bilim insanlarının Güneş'in içini araştırmalarına olanak vermektedir –tıpkı akustik deprem dalgalarının Dünya'nın iç bileşimini ve yapısını açığa vurması gibi. Helyosismoloji olarak bilinen bu süreç, bir piyanoyu merdivenden aşağı düşerken çıkardığı sesleri inceleyerek yapma çabasına benzetilise de, Güneş'in iç süreçlerine ilişkin bir model üretmiştir. Bu model yıldızın çekirdeğindeki helyum miktarına sıkı kısıtlamalar koyar ve bunun, erken Evren modelleri bakımından önemli sonuçları vardır. ■

> Leighton, araştırmacı kafa yapısıyla, doğada görülen her tuhaf etkiyi açıklamaya çalışırdı.
> **Gerry Neugebauer**
> ***Robert Leighton'ın meslektaşı ve fizikçi***

Ayrıca bakınız: Güneş lekelerinin öznitelikleri 129 ▪ Homestake deneyi 252-53 ▪ Öte-gezegenler 288-95

VERİLER, GÜNEŞ SİSTEMİ DIŞINDAKİ KAYNAKLARDAN GELEN X-IŞINLARI OLARAK AÇIKLANABİLİR

KOZMİK IŞIMA



KISACA

ASTRONOM
Riccardo Giacconi (1931–)

ÖNCE
1895 Alman fizikçi Wilhelm Röntgen "X-ışını" adını verdiği yüksek enerjili ışımayı keşfeder.

1949 Güneş'in X-ışınları, ilk kez sondaj roketleriyle saptanır.

SONRA
1964 Doğrulanan ilk ikili karadelik sistemi Cygnus X-1 keşfedilir.

1966 Virgo kümesinde, M87 galaksi kümesinde X-ışınları saptanır.

1970 İlk özel X-ışını misyonu Uhuru fırlatılır.

1979 Einstein Gözlemevi Jüpiter'den gelen X-ışınlarını saptar.

1999 Chandra X-ışını Gözlemevi fırlatılır.

X-ışınları bir yüksek enerji biçimidir, aşırı sıcak nesnelerin saldığı elektromanyetik ışımadır. 20. yüzyılın başında astronomlar, uzayın Güneş'ten gelen X-ışınlarıyla dolup taşması gerektiğini anladı. Dahası, Güneş'in X-ışını tayfı, yıldızın içinde etkili olan süreçlerle ilgili çok şey anlatacaktı. Ne var ki, roketler ve yapay uydular gelene kadar X-ışını astronomisi olanaklı olmadı. Enerjilerine rağmen X-ışınları kolay soğurulur; vücudu görüntülemede bu kadar iyi olmalarının nedeni budur. Dünya'nın atmosferindeki su buharı X-ışınlarının yüzeye ulaşmasını etkili bir biçimde engeller –yaşam için iyi bir şey; çünkü yüksek enerjili X-ışın-

Ayrıca bakınız: Homestake deneyi 252-53 ▪ Kara delikleri keşfetmek 254

> Canla başla çalışmadıkça hiçbir şey olmaz.
> **Riccardo Giacconi**

ları yumuşak, canlı hücrelere çarpınca hasara ve mutasyona neden olabilir.

Güneş'in X-ışınlarından ilk işaret 1940'ların sonunda, ABD Donanma Araştırma Laboratuvarının (NRL) Dünya'nın üst atmosferini inceleme programı sırasında geldi. ABD'li roket bilimcisi Herbert Friedman'ın başında bulunduğu bir ekip, X-ışını dedektörleriyle –esasında değiştirilmiş Geiger sayaçları– donatılmış Alman V-2 roketlerini uzaya gönderdi. Bu deneyler, Güneş'ten gelen X-ışınlarının ilk tartışmasız kanıtlarını sağladı. 1960'ta araştırmacılar X-ışınlarını saptamak için Aerobee sondaj roketlerini kullanıyorlardı ve Güneş'in ilk X-ışını fotoğrafları, bir Aerobee Hi'den çekildi. İki yıl sonra ilk kozmik X-ışını kaynağı saptandı.

Güneş Sistemi dışında X-ışınları

O sırada American Science and Engineering'de (AS&E) çalışan İtalyan astrofizikçi Riccardo Giacconi, ekibinin X-ışını deneyine mali kaynak sağlaması için NASA'ya başvurdu ve başvurusu kabul edildi. 1960'ta ekibin ilk roketi başarısız oldu ama 1961'de yeni, iyileştirilmiş bir roket fırlatılmaya hazırdı. Bu alet, o tarihe kadar uçan aletlerden yüz kat daha hassastı. Geniş bir görüş alanı kullanan ekip, gökyüzünde başka X-ışını kaynakları gözlemlemeyi umuyordu. Başarı bir yıl sonra geldi: Roket kamerasını önce Ay'a doğrulttu, sonra Ay'dan uzaklaştırdı. Kameranın gördükleri, ekip için tam bir sürpriz oldu. Alet X-ışını "ardalanı" –her yönden gelen dağınık bir sinyal– ve galaksinin merkezi yönünde güçlü bir ışıma doruğu saptadı.

Güneş'e benzer yıldızlar görünür ışık frekanslarında, X-ışını olarak yaptıklarından bir milyon kat daha fazla foton yayar. X-ışını sinyallerinin kaynağıysa, aksine, ışıktan bin kat daha fazla X-ışını saçmaktaydı.

Kozmik X-ışını ışıması, Dünya'nın atmosferi tarafından **soğurulur.**

→ X-ışını astronomisi için, **uzay-tabanlı teleskoplara** ihtiyaç vardır.

→ Balonların ve roketlerin üzerindeki dedektörler **bütün gökyüzünden** gelen X-ışınlarını saptar.

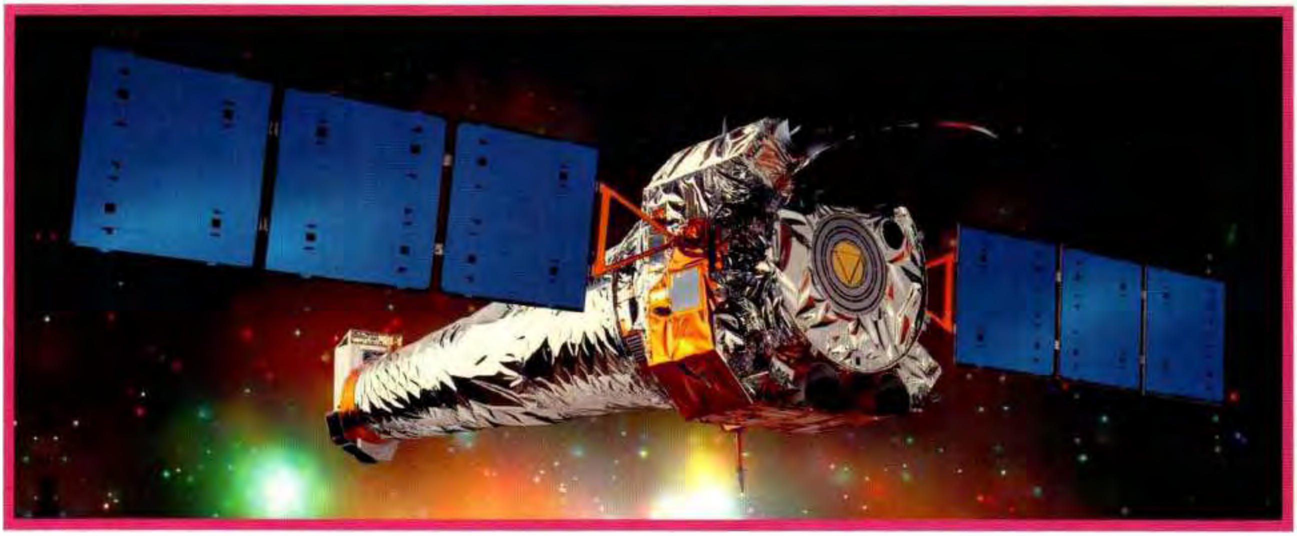
→ Yüksek enerjili ışımada, **yeni bir Evren görünümü** ortaya çıkar.



Riccardo Giacconi

1931'de İtalya'da Cenova'da doğan Riccardo Giacconi, lisede matematik ve fizik öğretmeni olan annesiyle birlikte Milano'da yaşadı. Annesi, genç Riccardo'ya geometri aşkı aşıladı. Giacconi ilk diplomasını Milano Üniversitesinden aldı. Fulbright Bursuyla Indiana Üniversitesine ve ardından Princeton'a astrofizik okumaya gitti.

1959'da Giacconi, Cambridge'de küçük bir firma olan American Science and Engineering'e girdi. AS&E, nükleer silahlardan saçılan elektronları ve gama ışınlarını ölçmek için görüntüleme cihazları yapmaktaydı. Giacconi, X-ışını astronomisi için aletler geliştirmekle görevlendirildi. X-ışını astronomisinde pek çok atılımın merkezinde o vardı ve 2002'de astrofiziğe katkılarından ötürü Nobel Fizik Ödülüyle ödüllendirildi. 2016'da 80'li yaşlarında, Chandra Deep Field-South projesi için baş araştırmacı olarak hâlâ çalışıyordu.



Chandra X-ışını Gözlemevi, 1999'da NASA tarafından fırlatıldı. Başlangıçta beş yıl çalışması planlandı ama 2016'da hâlâ kullanımdaydı.

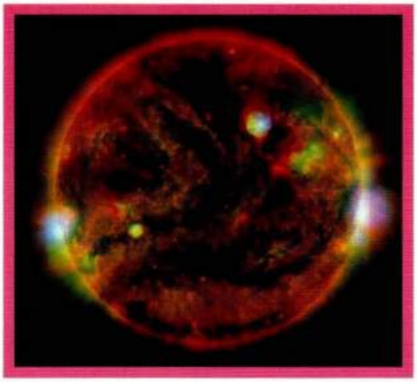
Bu kaynak, gökyüzünde küçük, zar zor görülebilir bir nokta olmasına rağmen, Güneş'ten bin kat daha fazla X-ışını saçıyordu. Dahası, kaynağın içinde belirli fiziksel süreçler gerçekleşiyordu ve bunlar, laboratuvarda hiç görülmemişti. Haftalarca süren analizlerden sonra ekip, bunun yeni bir yıldız sınıfı nesnesi olması gerektiği sonucuna vardı.

Kaynak arayışı

Güneş Sisteminde yoğun ışımayı açıklayacak bir aday yoktu. En olası kaynak, içinde bulunduğu takımyıldızdan ötürü Scorpius X-1 (Sco X-1) olarak adlandırıldı. NRL'de Herb Friedman, AS&E aletinden daha geniş bir alana ve daha iyi çözünürlüğe sahip bir dedektör kullanarak bu sonucu doğruladı. Şimdi Sco X-1'in bir çift yıldız sistemi olduğu biliniyor ve gökyüzündeki en parlak, en ısrarlı X-ışını kaynağıdır. Uzaya fırlatılan daha fazla araç, galaksinin hem içinde hem de dışında X-ışını kaynaklarıyla dolu bir gökyüzünü ortaya çıkardı. Kısa bir zaman aralığı içinde ekip, X-ışını yayan bir dizi farklı gök tuhaflığı saptadı. Bunların arasında süpernova kalıntıları, ikili yıldızlar ve kara delikler de vardı. Bugün, 100.000'den fazla X-ışını kaynağı biliniyor.

Chandra'ya doğru

1960'ların ortasına gelindiğinde aletler giderek daha fazla hassaslaşıyordu. Giacconi'nin keşfinden yalnızca beş yıl sonra dedektörler, Sco X-1'den bin kat daha zayıf X-ışınlarını kaydedebiliyordu. Giacconi'nin 1963'te önerdiği ve yalnızca X-ışını astronomisi için özel olarak yapılan ilk uydu olan Uhuru, 1970'te fırlatıldı. Üç yılı X-ışınlarının haritasını çıkarmakla geçirdi. Tüm gökyüzünü kapsayan bu araştırma, Andromeda galaksisinin merkezinde tuhaf bir nesne de dahil olmak üzere, 300 kaynağın yerini saptadı ve Cyg X-1'i potansiyel bir kara delik olarak işaretledi. Uhuru, galaksi kümelerindeki aralıkların güçlü X-ışını kaynağı olduklarını da buldu. Boş gibi görünen bu bölgeler aslında, milyonlarca Kelvin derecede düşük yoğunluklu bir gazla doludur. Bu "kümeler-arası ortam," ince bir şekilde yayılmış olmasına rağmen, kümedeki bütün galaksilerin kütlelerinden daha fazla kütle içerir.



Birçok teleskoptan gözlemler birleştirilerek Güneş'in aktif bölgeleri ortaya çıkarılır. Yüksek enerjili X-ışınları mavi, düşük enerjili X-ışınları yeşil renkli gösteriliyor.

1977'de NASA Yüksek Enerjili Astronomi Gözlemevi (HEAO) programını başlattı. Daha sonra adı değiştirilip Einstein Gözlemevi yapılan HEAO-2 çok hassas dedektörlerle donatıldı ve X-ışını astronomisini kökten değiştirdi. Bu teleskop, kaynaşık kuvars aynalarıyla, Giacconi'nin 1961 keşif roketinden bir milyon kat daha hassastı. Einstein Gözlemevi, yıldızlardan ve galaksilerden, hatta Jüpiter'deki gezegen ışıklarından yayılan X-ışınlarını gözlemledi. X-ışını ardalanını daha fazla araştırmak isteyen Giacconi,

Evren her yerde patlıyor.
Riccardo Giacconi

yine gelişmiş bir teleskop önerdi. Öneri, 1999'da, yörüngede dolaşan Büyük Gözlemevlerinin üçüncüsü, Chandra X-ışını Gözlemevi oldu. Chandra şimdiye kadar yapılmış en güçlü X-ışını teleskobudur, ilk dedektörlerden on milyarlarca kat daha hassastır. Olağanüstü performansı bütün beklentileri aştı ve görev süresi, beş yıldan on beş yıla çıkarıldı. Bununla birlikte, 2016 itibariyle görevini sürdürüyor. Chandra'nın öne çıkan teknikleri arasında, süper-kütleli bir kara delikten gelen ses dalgalarını saptamak da vardır. X-ışını verileri, Hubble Uzay Teleskobundan optik gözlemlerle ve Spitzer Uzay Teleskobundan kızılaltı verilerle birleşince, kozmosun müthiş görüntüleri ortaya çıktı.

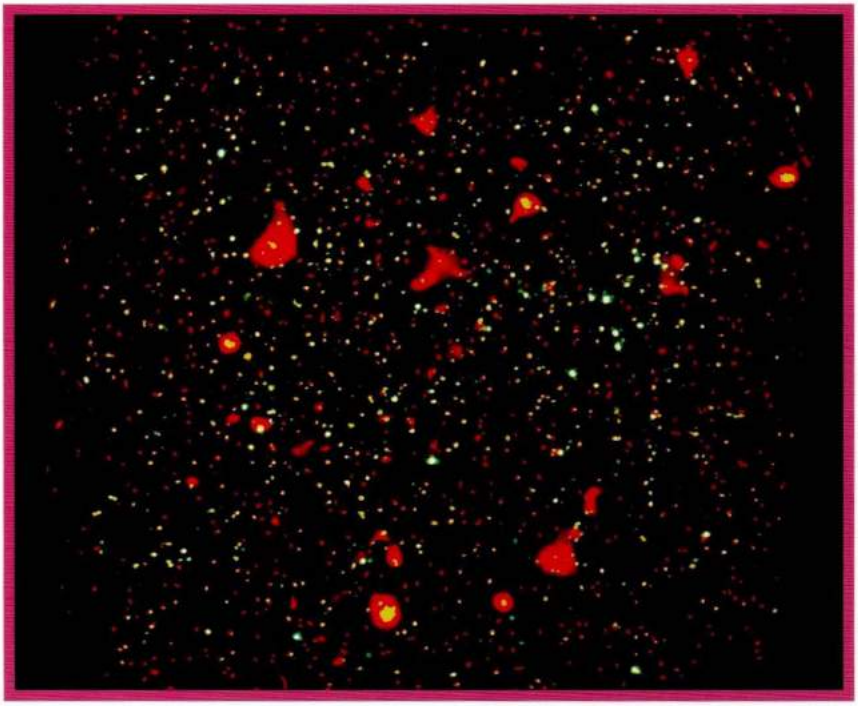
X-ışınları dünyası

X-ışını astronomisi, uzayda en yüksek enerjili nesneleri gözlemler: çarpışan galaksileri, kara delikleri, nötron yıldızlarını ve süpernovaları. Bu etkinliğin arkasındaki enerji kaynağı, kütleçekimdir. Madde kütleli bir malzeme yoğunluğuna doğru düşerse, parçacıklar çarpışır ve birikir. Bu hızlarda X-ışını dalga boylarına (0,01-10 nanometre ya da bir metrenin milyarda biri) –on milyonlarca derecelik sıcaklığa eşdeğer– sahip olan fotonlar yayarak enerjilerini bırakırlar. Bir dizi fenomende aynı mekanizma çalışır: Örneğin, Güneş'ten daha kütleli aktif yıldızlar güçlü Güneş rüzgârları ve önemli miktarda X-ışını üretir. Kütlenin bir yıldızdan onun eşine aktarıldığı "X-ışınlı ikili yıldız" sistemleri de yoğun ışınım üretir.

Kara delikleri görmek

Yıldızlar ömürlerinin sonunda patladıkları zaman, süpernovadan yayılan patlama dalgaları yıldızlararası ortamı sıkıştırıp, gazın X-ışını salmasına neden olur. Süpernovanın artıkları içinde kalan kütleli yıldız bir nötron yıldızı ya da kara delik olarak yaşamını sürdürür. Bir kara deliğin içine emildikçe parçalara ayrılan malzemenin yarattığı türbülans da X-ışını üretecektir. Dışarıya pompalanan ışınım, süpernova kalıntısının dış katmanlarının bir dizi renkli ışık yaymalarına neden olur.

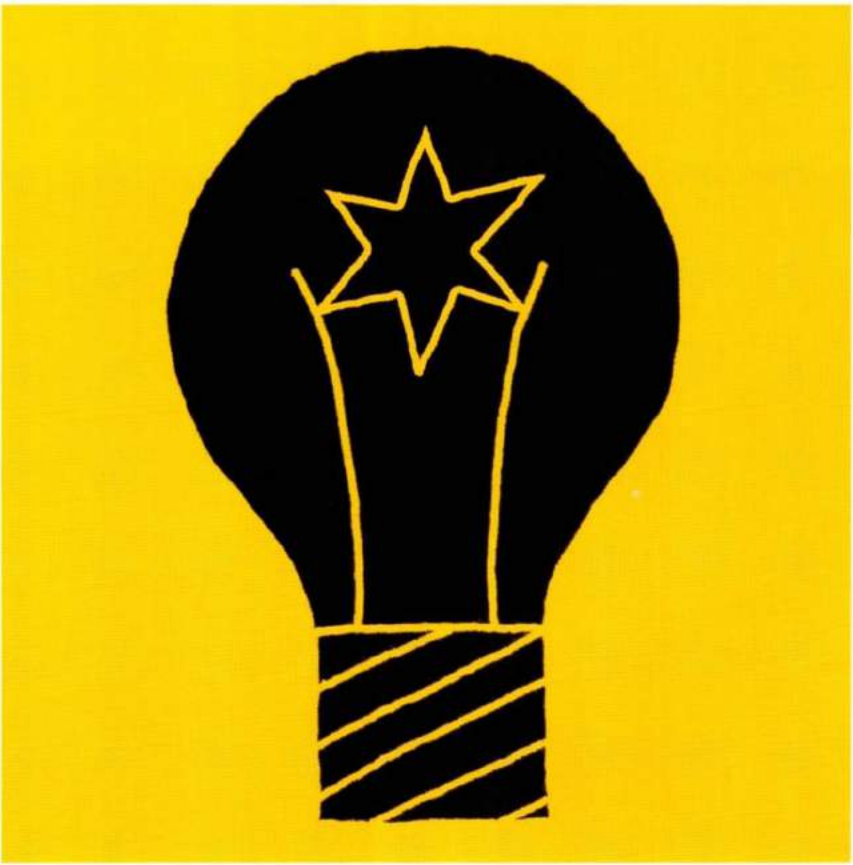
Bazı galaksilerin, bütün dalga boylarında parlak olan emisyonlarla, galaksinin içindeki milyarlarca yıldızın tamamından daha fazla parlayan merkezleri vardır. Böyle bir "aktif galaktik çekirdek"in merkezinin, süper-kütleli bir kara delik içerdiği varsayılır. Galaksi kümelerinin –Evren'deki en büyük yapılar– merkezlerine doğru düşen malzeme de X-ışınlarıyla parlar ve diğer ışık frekanslarında görülmez. Chandra, X-ışını ardalanının iki "derin alan" görüntüsünü çekti –gökyüzünün kuzey ve güney yarımkürelerinin 23 ve 11 günlük ışıklamayla elde edilen görüntüleri. Geleceğin X-ışını aletleri bilim insanlarının kara deliklerin nasıl dağıldığını görmelerine yardımcı olabilir. ■



X-ışını tayfında gözlemler, gizli yapıları ortaya çıkarır. Bir AUA X-ışını araştırmasından alınan bu gökyüzü parçasında büyük lekeler galaksi kümeleridir; küçük noktalar ise kara deliktir.

BİR GALAKSİDEN DAHA PARLAK AMA BİR YILDIZA BENZİYOR

KUASARLAR VE KARA DELİKLER



KISACA

ASTRONOM
Maarten Schmidt (1929–)

ÖNCE
1935 Karl Jansky ilk radyo teleskobunu geliştirir.

1937 Radyo mühendisi Grote Reber gökyüzünün ilk radyo araştırmasını yapar.

1955 Cambridge'de Radyo Astronomi Grubu, 159 MHz'de kuzey yarımkürenin haritasını çıkarmaya başlar.

SONRA
1967 Radyo Astronomi Grubundan Jocelyn Bell Burnell ilk pulsarları saptar.

1972 Bir kara deliğin ilk fiziksel adayı, Cygnus X-1 sisteminde tanımlanır.

1998 Andrea Ghez Samanyolu'nun merkezinde Güneş'ten dört milyon kat daha kütleli bir kara delik saptar.

1950'lerin sonuna gelindiğinde radyo astronomi gökyüzüne bakmanın yeni bir yolunu sunmuştu. Gökyüzü araştırmaları, ışıklı gök cisimlerinin görüntülemenin yanı sıra, uzaydan gelen ve daha önce görülmeyen özellikleri gösteren radyo emisyonlarını da kullanabiliyordu. Radyo dalgalarının Güneş'ten, yıldızlardan ve Samanyolu'nun merkezinden geldiği bulundu ama görülmeyen gizemli radyo kaynakları da vardı. 1963'te California'da Palomar Gözlemevinde Hale Teleskobuyla çalışan Hollandalı astronom Maarten Schmidt, bu nesnelerin birinden gelen ışığı bir an görmeyi başardı. Kızıla kaymasına bakınca, çarpıcı bir şey keşfetti. Nesne

Ayrıca bakınız: Görelilik teorisi 146-53 ▪ Radyo astronomi 179 ▪ Çekirdekler ve ışınım 185 ▪ Kuasarlar ve pulsarlar 236-39 ▪ Kara delikleri keşfetmek 254 ▪ Samanyolu'nun kalbi 297

Gökyüzünün **görünür olmayan** çok sayıda güçlü **radyo kaynağı** vardır.

Bunların, **kuasar** denilen **uzak, parlak, hızlı hareket eden,** yıldıza benzer nesne oldukları anlaşılıyor.

Kuasarlar, bir **kara deliğin** galaksi yıldızlarını yediği **aktif galaksi çekirdekleridir.**

Bütün galaksilerin merkezinde bir kara deliğin bulunması ve geçmişte **kuasar olmaları** olasıdır.

2,5 milyar ışık yılı uzaktaydı; yani akıl almaz ölçüde parlaktı. Mutlak kadiri –26,7'ydi (rakam ne kadar düşükse, nesne o kadar parlaktır). Schmidt'in merceğindeki nesne, Güneş'ten (kadiri +4,83) 4 trilyon kat daha parlaktı –Samanyolu'nun toplamından daha parlak.

Schmidt cisme yıldızımsı radyo kaynağı adını verdi –daha sonra kısaca kuasar denildi. Schmidt'ten önce bu nesne 3C 273 olarak biliniyordu. 3C, 3. Cambridge Radyo Dalgaları Kataloğuna (Radyo Astronomi Grubunun çıkardığı) işaret ediyordu ve o araştırmada yeri saptanan 273. nesne olduğu için 273'tü. 3C 273, 1959'da saptanmıştı; ama tanımlanan ilk kuasar (ya da daha sonra kuasar denilen şey), kısa süre önce bulunan 3C 48'di.



2001'de Hubble Uzay Teleskobu, o zamana kadar görülen en uzak ve ışıltılı kuasarlardan birinin anlık görüntüsünü yakaladı (daire içinde). Büyük Patlamadan bir milyar yıl sonrasına tarihleniyor.

Radyo astronominin iyileşmesi

Radyo astronomi 1930'larda, Karl Jansky'nin kozmik radyo kaynaklarını tesadüfen keşfetmesiyle başlamıştı. Radyo teleskopları kullanan araştırmalar, II. Dünya Savaşıyla kesintiye uğradı ve radar teknolojisinin gelişmesinden bir bakıma yararlandı ama 1950'ye kadar ciddi anlamda başlamadı. İlk araştırmalar, ilk radyo alıcılarının kullandığı düşük 81,5 Mhz (megahertz –saniyede milyon döngü) frekansıyla sınırlıydı. Bu frekansta, düşük akı yoğunluklu sinyallerin yerini belirlemek zordu. (Akı yoğunluğu bir sinyalin gücünün ölçüsüdür ve hertz başına metrekarede vatla ölçülür, jansky birimi [Jy] olarak basitleştirilir.)

1955'te Cambridge Üniversitesinde Radyo Astronomisi Grubu, 159 MHz'te sinyal toplayan bir radyo girişim ölçeri kullanarak bir araştırma başlattı. Bu, zayıf radyo kaynaklarını çözmede daha iyiydi ve ilk iki kuasarın keşfedilmesine yol açtı.

Her iki nesneden gelen ışık, o sırada Cambridgeli araştırmacıların kullandığı optik teleskoplara görünmüyordu. Bununla birlikte, akı yoğunluğuna ilişkin ölçümleri, onlara bu radyo kaynaklarının çok kompakt olduklarını söylüyordu.

1962'de 3C 273, birkaç kez Ay tarafından gizlendi ya da örtüldü. Astronomlar, ay diskinin arkasında

> Kuasarlara ilişkin bilgi 50 yılda çok fazla gelişmedi. Yalnızca bir nokta kaynağı görüyorsunuz; yapısını görmüyorsunuz. Yakalamak zordur.
>
> **Maarten Schmidt**
> ***2013'te konuşurken***



Bir sanatçının izlenimi, kuasar 3C 279'in olası yapısını gösteriyor. Bir malzeme diski, kütlesi Güneş'in bir milyar katı olan bir kara deliğin etrafında dönüyor.

radyo kaynağının yeniden görünmesini beklerken, kaynağın çok kesin bir yerini elde edebildiler. Maarten Schmidt bu ölçümleri kullanarak, o sırada dünyanın en büyük optik teleskobu olan Hale Teleskobuyla kaynağın içine bir göz attı. 3C 273'ün, henüz bilinmeyen en parlak nesne olacağını anladı. Bulgularını Mart 1963'te *Nature* dergisinde yayınladı ve bu yazının bulunduğu aynı sayıda, diğer iki astronomun, Jesse Greenstein ve Thomas Matthews'un, 3C 48'in kızıla kaymasıyla ilgili verileri de vardı; bu veriler, nesnenin ışık hızının üçte birininhızla uzaklaşmakta olduğunu –o zamana kadar keşfedilen en hızlı hareket eden nesne– göstermekteydi.

1970'lerin başına gelindiğinde yüzlerce kuasar tanımlanmıştı. Birçoğu 3C 48 ve 3C 273'ten bile daha uzaktı; bugün, bulunan kuasarların çok büyük bölümü yaklaşık 12 milyar ışık yılı uzaktadır. Ayrıca kuasarlar, ilk gözlemlerin gösterdiğinden daha parlaktır; aydınlatma güçleri, Samanyolu'nun 100 katı kadardır.

Beyaz delikler?

Bu şeylerin aslında ne olduklarına ilişkin tartışma başladı. Bir öneriye göre, kuasarlarda görülen muazzam kızıla kaymalar uzayın genişlemesinin sonucu değil, ışığın büyük bir kütleçekim kuyusundan çıkmaya çalışmasının sonucuydu. Böyle bir kuyu, kütleçekim alanı bir kara deliğinkine yakın olan tam anlamıyla devasa bir yıldız tarafından yaratılırdı. Ne var ki, hesaplamalar böyle bir yıldızın istikrarlı olamayacağını göstermekteydi.

Başka bir öneriye göreyse, kuasar bir beyaz deliğin ağzıydı. Beyaz delik, kara deliğin tersiydi. Bu düşünce 1964'te önerildi ve beyaz delikler, hâlâ tamamen farazidir. Bugün bir teori olarak önemsenmiyor ama 1960'larda ve 1970'lerde kara delikler de gözlenmemiş fenomenlerdi; bu nedenle beyaz delikler kavramı daha fazla ağırlık taşımaktaydı. Beyaz delik düşüncesi, Einstein'ın alan denklemlerinin karmaşık bir yorumuna dayanır ve gelecekte var olan bir kara deliğin, geçmişte var olan bir kara delikle ilişkili olacağını öne sürer. Bu nedenle beyaz delik, ışığın ve maddenin çıktığı ama giremediği bir uzay bölgesidir. Bu öneri, kuasarlardan ateşlendiği gözlemlenen odaklı ışınım ve madde akıntılarına uygundu. Bütün bu enerjinin nereden geldiği sorusu, yerli yerinde durmaktaydı. Verilen bir yanıta göre, bir solucan deliğinden ya da Einstein-Rosen köprüsünden –uzay-zamanın geleceği geçmişe bağlayan teorik bir özelliği– gelmekteydi.

Küçük patlamalar

Şu anda, beyaz deliğe benzer bir şey olarak kabul edilen tek olay Büyük Patlamanın kendisidir ve bazı teorisyenler, kara deliklere giren malzemenin başka bir Evren'de "küçük patlama" olayları olarak yeniden ortaya çıkabileceğini öne sürer. Yine de, kara deliklere ilişkin bilgi arttıkça, kuasarlarla ilgili beyaz delik açıklaması unutulup gitti.

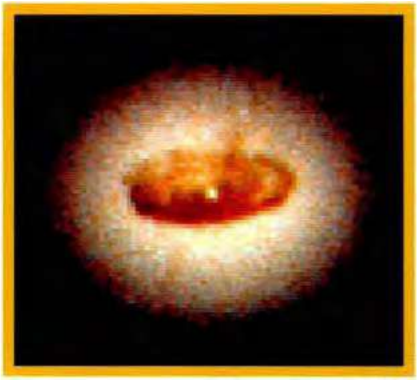
> Kırpış kırpış yıldızımsı.
> Uzaktan en büyük bilmece.
> Ne kadar farklı diğerlerinden.
> Daha parlak bir milyar
> Güneş'ten. Kırpış kırpış
> yıldızımsı. Ne olduğunu
> merak ediyorum.
>
> **George Gamow**

Süper-kütleli kara delik

Kuasarlar kendi enerjilerini üretmek için nükleer füzyonu –yıldızlara enerji sağlayan süreç– kullanamayacak kadar ışıklı ve enerjiktir. Bununla birlikte, kara deliklerle ilgili teorik çalışmalar, bir olay ufkunun etrafında birikim diski olarak bilinen bir malzeme bölgesinin oluşacağını gösterdi. Bu malzeme durmadan kara deliğin içine çekildikçe, milyonlarca dereceye kadar ısınırdı. Kütlesi Güneş'ten milyarlarca kat daha büyük süper-kütleli bir kara delik, kuasarlarda gözlemlenen çıktıya denk bir birikim diski üretirdi.

Birikim diski teorisi, bazı kuasarlardan karşıt yönde infilak eden ve göreli ışımalar (relativistic jets) olarak bilinen plazma demetleriyle de örtüşmekteydi. Bunlara, manyetik bir alan yaratan, maddeyi ve ışınımı iki akıntıya odaklayan kara deliğin spini neden olur. Her akıntıda, aşırı ısınan plazma ışık hızına yakın bir hızla infilak eder.

Bugünkü kuasarlar bilgisi 1980'lerde kristalleşmeye başladı. Kabul edilen görüşe göre, bir kuasar bir galaksinin kalbinde, yıldız malzemesi tüketen süper-kütleli bir kara deliktir –ya da belki de iki. Bu şekilde davranan bir galaksinin, aktif bir çekirdeği olduğu söylenir ve öyle görünüyor ki, kuasarlar, aktif denilen bu galaksilerin yalnızca bir tezahürüdür.



Hubble Teleskobu, eliptik galaksi NGC 4261'in aktif galaksi çekirdeğinin bu görüntüsünü çekti. Toz diski 800 ışık yılı genişliğindedir.

Aktif bir galaksi, göreli ışımalar (relatiristic jets) Dünya'nın görüş hattına açı yaptığında bir kuasar olarak saptanır. Bu nedenle, nesne, esas olarak radyo emisyonlarından saptanır. Işımalar Dünya'nın görüş hattına dikse, hiçbir zaman gerecekten saptanamazlar; onun yerine Dünya bir radyo galaksisi –yüksek sesli bir radyo kaynağını boşaltan galaksi– görür. Göreli ışımalar doğruca Dünya'ya yönelikse, bir nesnede blazar olarak bilinen aktif çekirdeğin kusursuz bir görünümü elde edilir.

Pek çok kuasar eski nesnedir ve Dünya, Evren gençken gerçekleşen etkinliklerini görüyor. Diğer aktif galaksilerden farklı olarak bir kuasarın çekirdeğinin parlaklığı, etrafındaki galaksinin çoğunu ayırt etmeyi zorlaştırır. Genç galaksilerin her zaman aktif çekirdeklere sahip oldukları ve kara deliğin yutacağı malzeme kalmayınca, bugünkü Samanyolu gibi, daha sakin yer haline geldikleri düşünülmektedir. Bununla birlikte, bir galaksinin başka bir galaksiyle kaynaştığı galaksi çarpışmaları, çekirdeği tekrar aktifleştirebilir. 4 milyar yılda Andromeda ile çarpışma yolunda olan Samanyolu'nun bir gün kaçınılmaz olarak kuasar olması olasıdır. ■

Maarten Schmidt



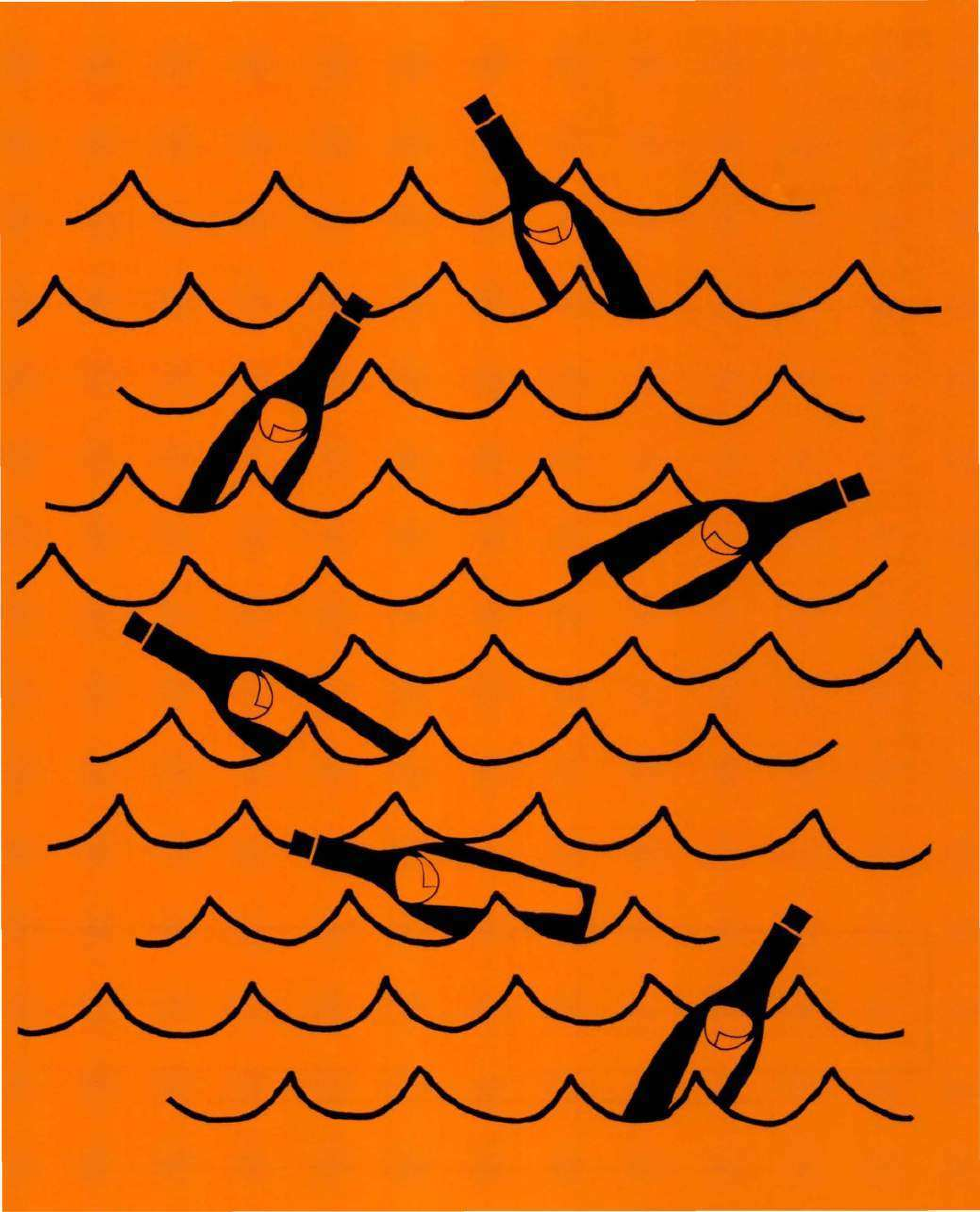
Hollanda'da, Groningen'de doğan Maarten Schmidt burada üniversiteye gitti ve Jan Oort'la birlikte okudu. Schmidt doktorasını yaptıktan sonra ABD'ye göçtü ve Caltech'in Palomar Gözlemevinde görev aldı. Yıldızlararası gaz bulutlarının yoğunluğunu içlerinde yıldız oluşumu hızıyla ilişkilendiren Schmidt yasasıyla özetlenen yıldız oluşumu konusunda önde gelen bir uzman oldu. Schmidt önemli bir kuasar araştırmacısı da oldu. 1964'te konuyla ilgili bir konferanstan sonra, Schmidt, William Fowler, Subrahmanyan Chandrasekhar ve alanın önde gelen diğer şahsiyetlerin bindiği uçak tehlikeli bir kalkış yaptı. Fowler'ın şu espriyi yaptığı söylenir: "Bu uçak düşerse, en azından bu kuasar sorununda yeni bir başlangıç yaparız." Schmidt astronomi kurumlarında önemli roller üstlendi.

Önemli eserleri

1963 *3C 273: A Star-Like Object with Large Red-Shift*

PATLAMALI YARATILIŞIMIZDAN KALAN BİR FISILTI OKYANUSU

BÜYÜK PATLAMA ARAYIŞI



KISACA

ASTRONOM
Robert H. Dicke (1916–1997)
James Peebles (1935–)

ÖNCE
1927 Georges Lemaître "ilkel atom varsayımını önerir.

1948 Ralph Alpher ve Robert Herman, Büyük Patlamadan kalan ışınımın şimdi 5 K'lık bir sıcaklığı olacağını öngörür.

1957 Sovyet astronom Tigran Shmaonov 4+/–3 K'lık bir "radyoemisyon ardalanı" rapor eder ama bu bulguyu Büyük Patlamaya bağlamaz.

SONRA
1992 COBE sonuçları, kara cisim eğrisini ve CMB anizotropisini (küçük varyasyonlar) doğrular.

2010 WMAP, CMB'de 0,00002 K'lık küçük sıcaklık varyasyonlarını ölçer.

2013 Planck ekibi, CMB'nin ayrıntılı bir haritasını çıkarır.

Evren'in "ilk ışığı"nın keşfi, tüm zamanların en temel bulgularından biridir. Dünya'ya ulaşan bütün fotonların (ışık parçacıkları) tam yüzde 99,9'u bu kozmik mikrodalga ardalanla (CMB) ilişkilendirilir. 13 milyar yıldan fazla bir süredir yol almaktadır, Evren'in şafağına yakın bir zamandan gelip bize ulaşıyor. CMB, Evren'in sıcaklığı yaklaşık 4000 K iken yayılan termal ışımadır.

CMB öngörüsü mal edilen bilim insanı, fizikçi George Gamow'dur (s. 196-97). Genişleyen bir Evren, eskiden küçük bir hacmin içine sıkıştığı bir noktayı ima eder. Gamow, bunun da sıcak bir başlangıç ima ettiğini gördü ve böyle bir sıcak "Büyük Patlama"nın gökyüzünde imzasını bırakacağını anladı. 1948'de doktora öğrencisi Ralph Alpher ve Robert Herman bu "ateş topu ışınımı"nın ayrıntılarını ortaya çıkardı. 13 milyar yılda Evren'in genişlemesiyle soğuyan ışımanın, bugün 3 K'de bir nesne – mutlak sıfırın biraz üstünde– yaymış gibi, radyo frekansı ışıması biçimini alması gerektiği sonucunu çıkardılar. Anlaşılan Alpher'in ve Herman'ın çalışmalarından habersiz olan ve Princeton Üniversitesi "Rad Lab"de çalışan Robert H. Dicke, 1960'ların başında onlardan bağımsız olarak CMB'yi öngördü. Dicke, kendi ekibinden onu bulmalarını istedi. David Wilkinson ve Peter Roll CMB'yi saptamak için bir makine yaparken, James Peebles de "teoriyi düşünecek"ti.

> Yetersiz bir aygıtla üstünkörü bir deney yapmanın hiçbir yararı yoktur.
> **Robert H. Dicke**

Büyük Patlamanın yankıları

Gamow, zayıf CMB sinyalinin, diğer astronomik nesnelerden sel gibi akıp gelen radyo dalgalarından ayırt edilemeyeceğini varsaymıştı ama Alpher ve Herman, ayırt edici iki özelliğinin olacağını gösterdi. Gökyüzünde her yönden gelecekti ve enerji eğrisi, kara cisim denilen, ter-

Büyük Patlama, **tartışmalı bir teoridir.**

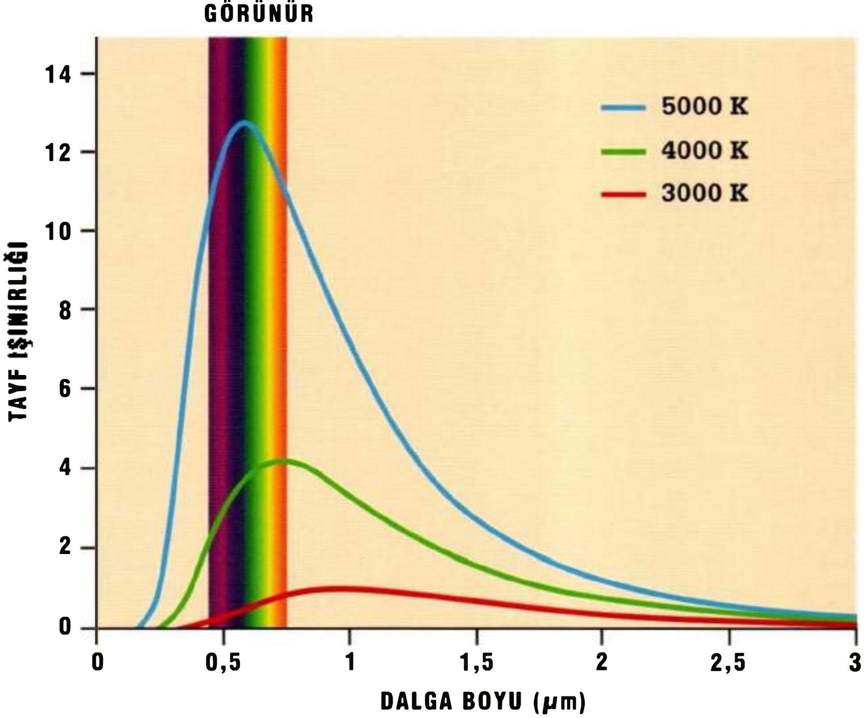
Büyük Patlama teorisinin öngörülerinden biri, tayfı **kara cismin** tayfına çok yakın, **sıcaklığı yaklaşık 3 K** olan **kozmik mikrodalga ardalan ışımasıdır.**

Ardalan ışıması, yaklaşık 3 K'de keşfedilir. Daha ileri incelemeler, bir **kara cisminkiyle** neredeyse aynı **bir tayfı** olduğunu gösterir.

Büyük Patlama artık **tartışmalı bir bilimsel teori değildir.**

Ayrıca bakınız: Evren'in doğuşu 168-71 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172-77 ▪ Kozmik şişme 272-73 ▪ CMB'yi gözlemlemek 280-85

Teorik bir "kara cisim" ona çarpan ışınımın tümünü soğurur, sonra burada gösterildiği gibi sıcaklığına bağlı olarak farklı dalga boylarında farklı yoğunluklarda ışınım (tayf ışınırlığı olarak ölçülür) yayar.



mik dengeye çok yakın bir nesne şeklinde olacaktı.

Alpher ve Herman burada durup, o günün radyo teleskoplarının böylesine sakin bir tıslamayı yakalayamayacağı uyarısında bulundu. Ama Dicke tersini düşündü. II. Dünya Savaşı sırasında, radar sistemleri üzerine çalışırken, bir makine yapmıştı: mikrodalga sinyal toplayıp gücünü ölçen Dicke radyometresi. Dicke, "gürültüyü" süzmek için bir anahtar ekledi. Bu düzenek, uzay teleskoplarında ve uydularda bugün de kullanılmaktadır. Bir sonraki önemli evre, ışınımın aranacağı uygun bir bant genişliği seçmekti; çünkü çok sayıda şey radyo dalgası üretmektedir. Örneğin gökyüzü, hidrojen atomlarının yaydığı 21 santimetrenin etrafında mikrodalga dalga boylarıyla doludur. Tayfın karanlık bir bölümünden başlamak mantıklı görünüyordu. 1964 baharında Wilkinson ve Roll 3 santimetre bandına bakmaya başladı ama arayışları sonuçsuz kaldı.

Holmdel Horn

Holmdel Horn –Bell Laboratuvarları'nın uydu iletişimi için kurduğu dev radyo anteni– Princeton Üniversitesine arabayla bir saatten az bir mesafededir. 1964'te iki radyo astronomu tarafından, Samanyolu'nun etrafında soğuk bir gaz halesi saptamaya çalışan Robert Wilson ve Arno Penzias tarafından kullanılıyordu. Penzias ile Wilson 7 santimetre aralığına bakıyorlardı ama ölçümlerini



Robert H Dicke

Bob Dicke 1916'da Missouri'de, St. Louis'de doğdu ama NY Rochester'de büyüdü. Genç yaşta bilime merak salan Dicke, mühendislik diploması aldıktan sonra fizik alanına geçti. 1939'da Princeton'dan mezun olduktan sonra, II. Dünya Savaşı sırasında MIT'nin Işınım Laboratuvarında çalışıp, mikrodalga radarı geliştirdi. Savaştan sonra karısı Anne'yle birlikte Princeton'a döndü ve ömürlerinin sonuna kadar orada kaldılar. Dicke'nin araştırmaları başlangıçta ışınıma odaklıydı ve teorik olarak ideal bir lazerin ürettiği tutarlı ışınım emisyonunu açıklayan yeni bir kuantum teorisi formüle etti. Işınıma ilgisi, James Peebles'le birlikte çalışmasına ve CMB'nin varlığını öngörmesine yol açtı. 1960'lara gelindiğinde Dicke'nin ilgi alanı kütleçekim teorilerine kadar genişlemişti. Genel göreliliği daha kuvvetli test etmek için yüksek hassasiyetli deneyler geliştirdi ve alternatif bir kütleçekim teorisi üretti. Yaratıcı bir deneyci ve verimli bir mucit olan Dicke'nin, lazerlerden çamaşır kurutma makinelerine kadar uzanan 50'den fazla icadı vardı.

> Bilim, ardışık bir dizi yaklaştırmadır.
> **James Peebles**

berbat eden inatçı bir düşük düzeyli hışırtıdan kurtulamıyorlardı.

İkisi titizlikle fişlerin tozunu alarak ve devreleri kontrol ederek, girişime engel olan olası nedenleri ortadan kaldırdı. Başlangıçta gürültünün New York'tan geldiğini sandılar ama teleskoplarını kentin dışına çevirmeleri işe yaramadı. Sonra, bir nükleer bomba denemesinden ya da Güneş Sisteminde bilinmeyen bir radyo kaynağından gelen yüksek-irtifa statik elektrik olabileceğini düşündüler ama yıl içinde, sinyal aralıksız yumuşak tıslamasını hiç değiştirmedi. Çaresizce, yuva yapan bir çift güvercini bile kovdular ve "beyaz dielektrik malzeme" birikintisini (kuş pisliği) kazıyıp attılar.

Şaşkına dönen Penzias, bir meslektaşıyla ilişkiye geçti ve o da, onu Princeton'da James Peebles'e yönlendirdi. Peebles'ı arayan Dicke, Bell Laboratuvarlarındaki bilim insanlarının neyi bulduğunu hemen anladı. Telefonu kapatıp, çalışma arkadaşlarına "Evet, çocuklar, geç kaldık" dedi.

Tek yol bitti

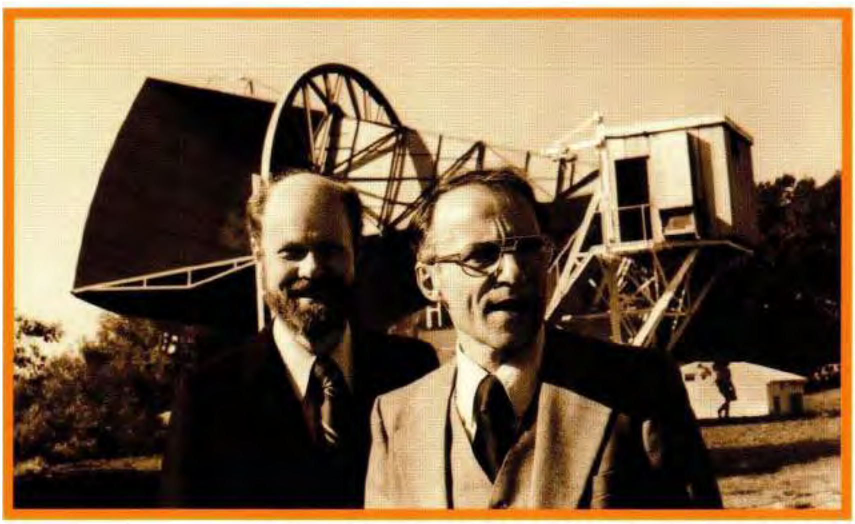
Kozmik ardalan ışımasının keşfi, Büyük Patlama teorisinin üç deneysel direğinden biridir –diğer ikisi Hubble Yasası ile hidrojen ve helyum elementlerinin kozmik bolluğudur (s. 196-97). Büyük Patlama teorisyenleri, tamı tamına şimdi bulunmuş olanı öngörmüştü: 3 K'de her yönden gelen ışınım.

Büyük Patlama bu zamana kadar oldukça tartışmalı bir düşünce olmuştu ve birçok bilim insanı –Penzias ve Wilson da dahil– Fred Hoyle'un Durağan Hal modelinden yanaydı; bu modelde genişleyen bir Evren, sürekli madde yaratımı nedeniyle değişmeden kalır. Bu teoriye göre Evren'in görünüşü, zaman içinde değişmez.

> En iyi fizik teorilerimizin tümü eksiktir.
> **James Peebles**

Durağan Hal teorisyenleri, mikrodalga ardalanın, uzak galaksilerden gelen dağınık yıldız ışığının sonucu olduğunu öne sürüyorlardı. Sinyallerin aslında Büyük Patlama teorisinin öngördüğü kalıntı ateş topu ışınımı olduğunu kuşkucu bir fizik topluluğuna göstermek için, Alpher ve Herman koşulunu, ışınımın teorik bir kara cismin ışımasına denk olması gerektiği koşulunu doğrulamak gerekiyordu. Bu da, CMB'yi farklı frekanslarda ölçmeyi gerektirmekteydi. Bir sonraki hamle, uzay-tabanlı bir alıcı fırlatarak tayfın daha doğru bir saptamasını yapmaktı.

1970'lerde ve 1980'lerde, British Columbia Üniversitesinde fizikçi Herb Gush, Dünya atmosferinden girişim olmadan CMB'yi gözlemlemek için uzaya sondaj roketleri gönderdi. Bu, CMB'nin, ısının bir bölümden diğerine akmadığı termik dengede bir sistemin kara cisim imzasına sahip olduğuna işaret etmekteydi. Bu şaşırtıcı –ve çoğu kez göz ardı edilen– sonuç, sinyalin kökeninin termik olduğunu doğrulamaktaydı. Ne yazık ki, roketin sıcak egzoz gazları Gush'un ölçümlerini



Robert Wilson ve Arno Penzias, 1978'de CMB'yi keşfetmelerinden ötürü Nobel Ödülü aldıktan sonra Holmdel Horn Anteninin önünde poz verirken.



CMB, gözlemlenebilir Evren'in dış kabuğunu temsil eder. Onun hemen arkasında, burada bir dizi ışıltı olarak gösterilen Büyük Patlama anı vardır.

çoğu kez bozup, kesin bir sonuç çıkarmasını engelledi.

Kıl payı kaybetmek

1989'a gelindiğinde Gush sonunda, CMB tayfını, bir kara cisme yaklaşan bütünleşik bir ışıyıcının tayfıyla karşılaştırabileceği bir alet geliştirmişti. Ne var ki, bozuk bir titreştiricide yaşanan sorunlar, fırlatmayı 1990 başına kadar geciktirdi. Sonuçlar hazır ve çarpıcıydı ama Gush, birinci gelme fırsatını birkaç haftayla kaybetmişti. NASA'nın 1989'un sonunda fırlatılan Kozmik Ardalan Gezgini (COBE) uydusu, 2,7 K'ye yakın bir sıcaklığı olan tayfın şeklini elde etmişti. Sonunda Gush'un roketinin verileri, COBE'nin sonuçlarını doğruladı; tersi değil. Peebles daha sonra, Gush'un bu çalışmasıyla bir Nobel Ödülü hak ettiğini ifade edecekti.

COBE'nin sonuçları, teorik kara cisim tayfıyla kusursuza yakın bir uyum gösterdi ve ardalan ışımasında ilk kez hafif bir eşitsizlik ortaya çıkardı. Sonraki misyonlar –NASA'nın 2001'de fırlatılan Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) uydusu ve ESA'nın 2009'da fırlatılan Planck uzay aracı gibi– CMB'nin "topak görünümünün" daha ayrıntılı haritasını çıkardı. ■

James Peebles



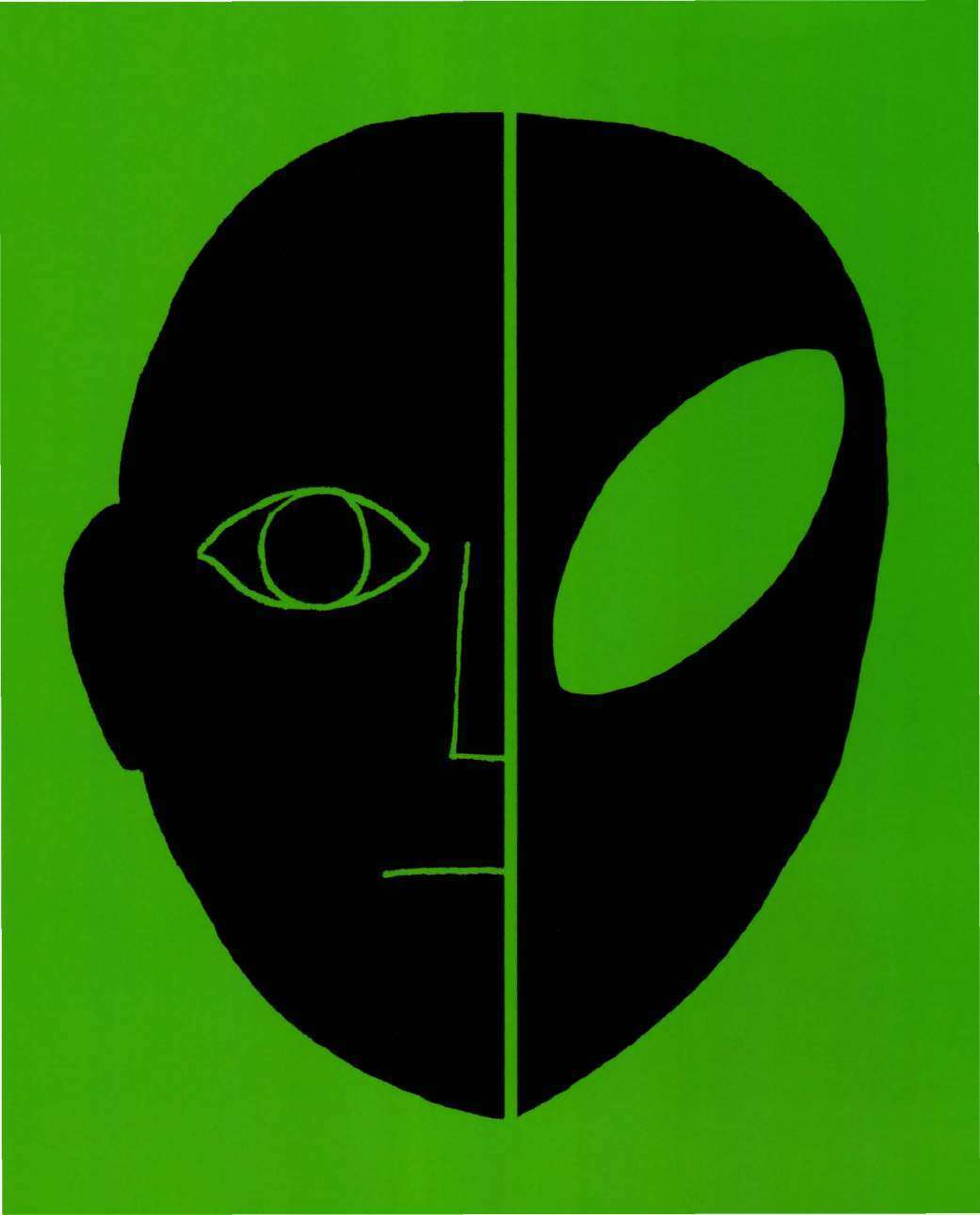
Phillip James Edwin Peebles 1935'te Kanada'da, Winnipeg'de doğdu. Manitoba Üniversitesinden mezun olduktan sonra, kedisini "benden çok daha fazlasını bilen insanlarla çevrili" bulduğu Princeton Üniversitesinde doktora yaptı. Robert H. Dicke'in gözetiminde çalışan Peebles, önceden yapılmış olanları tekrarladığını anladı. CMB'nin erken Evren üzerindeki kısıtlarına –özellikle Büyük Patlamada atom çekirdeklerinin yaratılmasına ve küçük sıcaklık farklarının Evren'de yapı oluşum modellerini nasıl etkilediğine– odaklanmaya başladı. Peebles kara madde ve kara enerji teorilerine de önemli katkılarda bulundu. Tipik bir alçakgönüllülükle, kendisine ait soğuk kara madde modelinin analizi kolay olduğu için popüler olduğunu ifade ediyor. Şu anda Princeton'da Albert Einstein bilim profesörüdür.

Önemli eserleri

1971 *Physical Cosmology*
1980 *Large Scale Structure of the Universe*
1993 *Principles of Physical Cosmology*

DÜNYA-DIŞI ZEKÂ ARAYIŞI, KENDİMİZİ ARAMAKTIR

DİĞER GEZEGENLERDE YAŞAM



KISACA

ASTRONOM
Carl Sagan (1934–1996)

ÖNCE
1865 Alman fizikçi Hermann Eberhard Richter, gezegenlere kuyrukluyıldızlarca taşınan basit yaşam tohumları ekilebileceğini öne sürer.

SONRA
1973 Brandon Carter antropik ilkenin erken bir versiyonunu ortaya atar; bu ilkeye göre, Evren zorunlu olarak belli bir tarzdadır; yoksa, burada insan olmazdı.

1977 Dünya'dan görüntü ve ses taşıyan Voyager 1 ve 2 uzaya fırlatılır.

2009-2016 NASA'nın uzay teleskobu Kepler, 2571 gezegen sistemi içinde 3443 öte-gezegen keşfeder.

2015 Kepler, başka bir yıldızın yaşanabilir bölgesinde Dünya büyüklüğünde ilk gezegeni keşfeder.

Copernicus ilkesi, Dünya'nın özel olmadığı –sıradan bir galaksinin önemsiz bir bölümünde orta büyüklükte bir yıldızın yörüngesinde dönen ortalama bir gezegenden başka bir şey olmadığı– varsayımını ifade eder. Dünya eşsiz değilse, diğer gezegenlerin de yaşamı barındıramayacağını düşünmek için fazla neden yoktur. Evren'deki yıldızların sayısı –10^{23} düzeyinde– göz önüne alındığında, yaşamın varlığı istatistiksel bir kesinlik olabilir. Yüzyıllarca, Amerikalı Carl Sagan gibi birçok düşünür, bu olasılığı araştırdı.

Dünya yalnız mı?

16. yüzyılda İtalyan rahip Giordino Bruno, yıldızların Güneş olduğunu, her birinin kendi Güneş sistemine sahip olabildiğini öne sürdü. Yaşam, bu diğer dünyaları da şenlendirebilirdi. Evren'in sonsuz olduğuna inanan Bruno, merkezinin olmayabileceğini de ısrarla belirtti. Bu ve diğer sapkın inançlarından ötürü Bruno, Roma Engizisyonu tarafından yargılandı ve 1600'de kazıkta yakıldı.

Tarih boyunca çeşitli astronomlar, Güneş Sisteminin diğer gezegenlerinde yaşamın kanıtlarını gördüğünü iddia etmiştir. 1890'larda Amerikalı astronom Percival Lowell, Mars'ta yapay "kanalların" haritasını çıkardığını iddia etti; İsveçli kimyacı Svante Arrhenius da 1918'de Venüs'ün yoğun bulutlarının, yaşamla dolu yemyeşil bir yüzeyi gizlediğini hayal etti. Bugün, bulutların asidik ve Venüs'ün yüzey sıcaklığının da 462 °C olduğu biliniyor. Ne var ki, bunlar milyarlarca potansiyel gezegenden yalnızca ikisidir.

Evren'in büyüklüğü ve yasalarının görünür evrenselliği, başka yerlerde mikrobik yaşamın olası görünmesini sağlıyor. Aslında, yaşam

> Çok sayıda dünya mı var, yoksa tek bir dünya mı? Doğanın incelemesinde en soylu ve yüce sorulardan biri budur.
>
> **Albertus Magnus**
> ***13. yüzyıl bilgini***

Carl Sagan



Carl Sagan 20. yüzyılın en çok tanınan bilim insanlarından biridir. *Cosmos* belgesel dizisindeki sesinin derin, tatlı tonu hemen tanınır. Sagan, New York'un Yahudi işçilerin yaşadığı bölgesinde büyüdü ve çocukken, ateşli bir bilimkurgu okuruydu. Yetenekli bir öğrenciydi; 1951'de tam burslu olarak Chicago Üniversitesine gitti. 1960'ta Venüs'ün yüksek yüzey sıcaklığının sera etkisinden kaynaklandığını göstererek doktora derecesi aldı. Sagan gezegen biliminde ve ana akım astronomide birçok kişinin kuşkuyla baktığı eksobiyoloji (Dünya-dışı yaşam biyolojisi) alanında öncü araştırmalar yürüttü. 1985'te, daha sonra bir filme dönüştürülen bilim kitabı *Contact*'ı yazdı. Cornell Üniversitesi profesörü Sagan, öngörülü, olumlu ve hümanist bakışıyla, yeni bir astronom kuşağına ilham verdi.

Önemli eserleri

1966 *Intelligent Life in the Universe* (Iosif Shklovsky ile birlikte)
1983 *Cosmos*

Ayrıca bakınız: Radyo teleskopları 210-11 ▪ Uzay Yarışı 242-49 ▪ Güneş Sistemini araştırmak 260-67 ▪ Öte-gezegenler 288-95 ▪ Shklovsky (Rehber) 338 ▪ Carter (Rehber) 339 ▪ Tarter (Rehber) 339



Bilgisayar simülasyonları, kuyrukluyıldızların ya da asteroidlerin içinde basit tek-hücreli yaşam formlarının var olmasının ve Dünya'ya bu şekilde çarpmaya dayanmasının teorik olarak olanaklı olduğunu göstermiştir.

başka bir yerde başlamış ve Dünya'ya taşınmış olabilir. İlk kez Yunan filozof Anaksagoras, MÖ 5. yüzyılda bu "panspermia" düşüncesini öne sürdü. Doğal seçilimle evrim teorisi üzerinde çalışırken kısa bir süre bu düşünceye yönelen Charles Darwin, Dünya'nın yaşı için kabul edilen rakamın, karmaşık organizmaların gelişmesine yetecek zamanı vermemesini sorun etti. Bugün Dünya'nın, Darwin'in zamanında inanılandan çok daha yaşlı olduğu biliniyor; bu yüzden gezegende yaşamın kökenini açıklamak için panspermia'ya ihtiyaç yoktur.

Yakın zamanda yapılan keşifler, kuyrukluyıldızların yaşamın temel kimyasal bileşenlerinden birçoğunu taşıyabildiğini gösteriyor ama Dünya'da yaşamı başlatan mekanizma hâlâ sırrını korumaktadır. Bu sırrı çözmek, başka yerlerde yaşamın ne kadar olası olduğu konusunda daha iyi bir fikir verir.

Herkes nerede?

Bir gün, 1950'de Los Alamos'ta öğle yemeğinde İtalyan bilim insanı Enrico Fermi basit bir soru sordu: "Neredeler?" Fermi'ye göre, Yalnızca az sayıda gezegen akıllı yaşama ev sahipliği yapsa bile, galaksideki yıldızların akıl almaz sayısı göz önüne alındığında, başka gezegenlerde çok sayıda uygarlığın var olması beklenebilirdi. En azından bazıları mesaj göndermeyi tercih etmiş ya da Dünya'yı bizzat ziyaret etmeye çalışmış olabilir. Dünya, radyo ve televizyon yayını başladığından beri 90 yıldır elektromanyetik sinyaller üretmektedir. Bu modülasyonlu radyo dalgaları –90 yıl her yönde genişleyen ve yayılan– uzay yolculuğu yapan potansiyel bir zekâya teknolojik olarak ileri bir toplumun işaretini verecektir.

1959'da Giuseppe Cocconi ve Philip Morrison, uzaylı radyo mesaj-

Evren'de **muazzam sayıda yıldız** vardır.

↓

Bu yıldızlardan birçoğunun **gezegen sistemleri vardır.**

↓

Birçok gezegende yaşam doğmuş olabilir.

↓

Yaşam **varlığını yeterince uzun sürdürürse,** insanların yaptığı gibi başka yerlerde yaşam aramaya başlayacak kadar **akıllı** olabilir.

↓

Dünya-dışı zekâ arayışı, kendimizi aramaktır.

ları aramak için bir bant genişliği önerdi. Bir yıl sonra, ABD'de, West Virginia'da, Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevinde Frank Drake, bu mesajları aramaya koyuldu. Drake, yazar L. Frank Baum'un hayali Oz Ülkesinin –"egzotik varlıkların ulaşması ve yaşaması zor" bir yer– kraliçesinin adını verdiği Ozma Projesini kurdu. Kısa bir süre çok gizli askeri telsiz bozma donanımıyla heyecanlı ve gürültülü bir karşılaşmadan sonra, Drake ve ekibi sessizlikle karşılaştı. 50 yıldan fazla zaman geçmesine rağmen bu, sessizlik henüz bozulmadı.

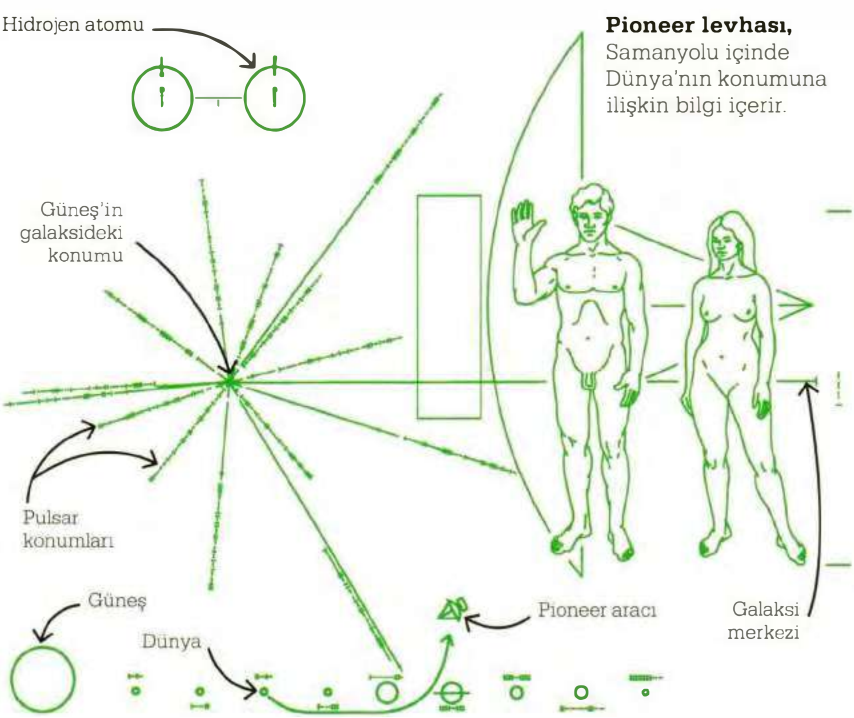
Yunus Tarikatı

Drake, Dünya-dışı zekâ arayışının (SETI) temellerini ve protokollerini belirlemek için farklı bir bilim insanları grubu kurdu. Grup, şaka yollu, yunuslarla konuşma biliminin öncüsü nörolog John Lilly'nin çalışmalarına göndermeyle, kendine Yunus Tarikatı dedi. Türler-arası iletişimle uğraşan az sayıda insandan biri olarak Lilly, gezegen atmosferleri konusunda uzman genç astronom Carl Sagan'ın da yer aldığı grubun önemli bir parçasıydı.

Tarikatın 1961'deki ilk toplantısına Drake, galaksideki uzaylı uygarlıklarının sayısına ilişkin bir formülle geldi. $N = R_* \times f_p \times n_e \times f_1 \times f_i \times f_c \times L$. Toplam sayıya (N), Dünya-dışı akıllı varlıkların gelişmesi ve keşfedilmesi için gerekli faktörlerin çarpımıyla ulaşıldı. Yıldızların akıllı yaşam formuna uygunluk oranına (R_*); bu yıldızların, yörüngesinde gezegen dönen kısmına (f_p); yaşamı destekleyebilen verili bir gezegen sistemindeki gezegen sayısına (n_e); bu gezegenlerin, yaşamın fiilen ortaya çıktığı kısmına (f_1); akıllı yaşam üretmeye devam eden yaşam taşıyan gezegenlerin oranına (f_i); var olduklarının saptanabilir işaretlerini veren teknolojiyi geliştiren uygarlıkların oranına (f_c) ve son olarak, bu tür uygarlıkların varlıklarını sürdürme zamanına (L) bağlıdır.

> Dünya-dışı yaşam arayışı, hem başarının hem de başarısızlığın bütün standartlara göre başarı olacağı ender durumlardan biridir.
> **Carl Sagan**

Bu koşullarla birlikte, teorik olarak her birine bağlayıcı sınırlar konulabilirdi. Ne var ki, 1961'de bir teki bile kesin olarak bilinmiyordu. Toplantıya katılanlar şu sonuca vardı: N yaklaşık olarak L'ye eşitti ve galakside 1000 ila 100 milyon potansiyel uygarlık var olabilirdi. Drake denklemindeki bazı değişkenlerin değeri aradan geçen yıllarda daraltılmasına rağmen, N'ye ilişkin modern tahminler hâlâ birbirinden çok farklıdır. Bazı bilim insanlarına göre, rakam sıfır olabilir.



Pioneer levhası, Samanyolu içinde Dünya'nın konumuna ilişkin bilgi içerir.

Şişede mesaj

1966'da Sagan, ilk kapsamlı gezegen bilimi ve eksobiyoloji tartışması olan *Intelligent Life in the Universe (Evren'de Akıllı Yaşam)* kitabının eş-yazarlığını yaptı. Kitap, Sovyet astronom ve astrofizikçi Josif Shklovsky'nin 1962'de yayınladığı erken bir basımın genişletilmiş ve gözden geçirilmiş bir versiyonuydu. Oldukça spekülatif olmasına rağmen, bilim insanları arasında tartışmayı ateşledi. NASA'nın, şimdi "SETI Kitabı Mukaddesi" denilen etkili belge Project Cyclops raporuna ilham verdi.

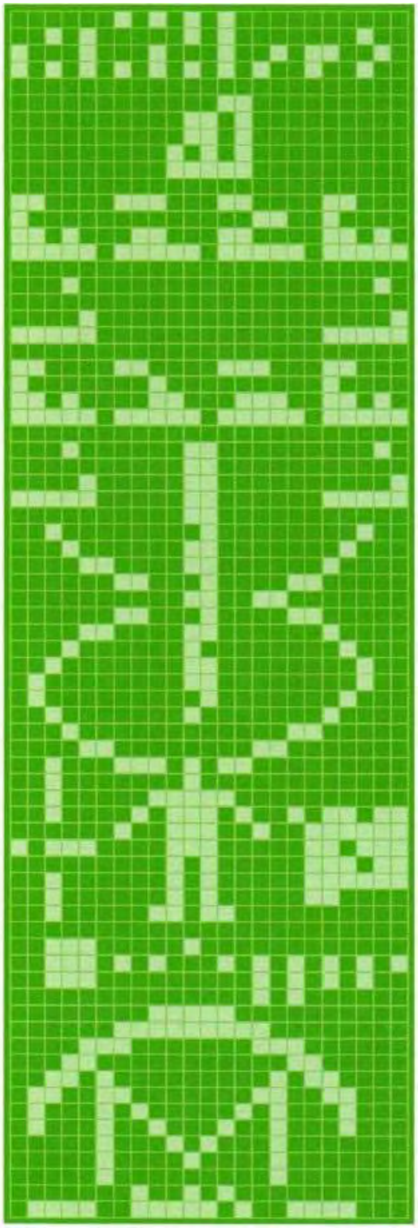
1971 Sagan, Pioneer uzay aracıyla bir mesaj gönderme düşüncesiyle

NASA'ya yaklaştı. Sagan ve Drake, onun varlığını uzaylı uygarlıklara tanıtacak ve Dünya'nın kozmostaki yerini saptamalarına yardım edecek bir tasarım üzerinde çalıştı. Pioneer levhasındaki grafikler, 21 santimetre hidrojen emisyonu çizgisini kullanan bir ölçü birimi kurar. Çünkü metre ve saniye gibi Dünya-tabanlı fenomenlere referansla tanımlanan birimler, Dünya-dışı bilim insanları için anlamsız olurdu. Doğanın özniteliklerinden birimlerin seçilmesiyle, evrensel olarak anlaşılacakları umulmaktaydı.

Levhanın üzerindeki bütün görseller, bu birimlere göre ölçeklendirildi. Parlak ve ayrık pulsarların bir haritası Dünya yönüne işaret eder ve Pioneer'in güzergâhı, basit bir resim-yazı Güneş Sistemi üzerinde gösterilir. Bir erkek ile bir kadının görüntüsü, Sagan'ın sanatçı karısı Linda Salzmann Sagan tarafından çizildi.

1972 ve 1973'te fırlatılan Pioneer 10 ve Pioneer 11'e, 152x199 milimetre altın kaplama alüminyum bir levhaya oyulmuş Sagan levhası takıldı. Eleştirmenler, iktidar açlığı (ya da sadece açlık) çeken uzaylıların gereksiz dikkatini çekeceği uyarısında bulundu. Feminist gruplar, erkek selam verirken, kadının vücudunu erkek figüre doğru itaatkârca (onlara göre) eğerek poz vermesinden mutsuz oldu. Salzmann şu yanıtı verdi: Kadınlar ortalama olarak daha küçüktür; her iki figürün selam vermesi, doğal kol pozisyonu olarak yorumlanabilirdi ve yalnızca kalçaların nasıl hareket ettiğini göstermek istemişti. Sagan başlangıçta erkek ile kadının el ele tutuşmasını istemişti ama bunun, Dünya'lıları iki başlı tek yaratık gibi gösterebileceğine karar verdi.

> Gezgin olarak başladık ve hâlâ gezginiz. Kozmik okyanusun kıyılarında yeterince oyalandık. Sonunda yıldızlara yelken açmaya hazırız.
>
> **Carl Sagan**



Arecibo mesajı, 1974'te tek seferde uzaya yayınlandı. İkili kodlanan mesaj, 23 sütun 73 sıra olarak düzenlendi.

Arecibo mesajı

Akıllı varlıkların ve olası yıldız sistemlerini diktiği işaretleri arayım devam ederken, Drake ve Sagan, Dünya gezegeninin kendi "biz buradayız" sinyalini göndermeye karar verdi. Yıldızları ayıran mesafeyi geçmek için 3 dakikalık 1000 kW radyo dalgaları patlaması tasarlandı. Kasım 1974'te Porto Riko'da Arecibo radyo çanağından yayınlanan yıldızlararası mesajın hedefi, Dünya'dan 25.000 ışık yılı uzakta yaklaşık 300.000 yıldızdan oluşan M13 küresel kümesiydi.

Arecibo mesajı resim-yazı yerine, 1679 ikili rakamdan oluşan, yoğun dizilmiş matematiksel kod biçimini aldı (1679, iki asal sayının, 73 ve 23, çarpımı olduğu için seçildi). Sayısal mesaj 1 ila 10 sayılarını ve gönderenin kimliğiyle ilgili bilgi – DNA ayrıntıları, bir insanın genel şekli ve boyutları, Dünya gezegenin konumu– içermekteydi.

1960'lardan itibaren Güneş Sistemine gönderilen robot kâşiflere eşlik eden umutlardan biri de, Güneş Sisteminin içinde, yalnızca tek-hücreli organizma da olsa Dünya-dışı yaşamın bir işaretini ortaya çıkarma olasılığıydı. NASA'nın Mars'a inen uzay aracı Viking gibi, gezegenlere dokunan uzay araçları yaşam işaretlerini test etme deneyleri gerçekleştirdiler. Bu tarihe kadar, Jüpiter'in uydusu Europa'nın donmuş yüzeyinin altında olduğu düşünülen derin okyanus gibi, Güneş Sisteminin araştırılmamış bazı köşeleri yaşam adayı olarak kalmasına rağmen, ne geçmi-



Carl Sagan Viking 1 iniş aracının bir modelinin yanında duruyor. İniş aracı 1976'dan 1982'ye kadar Mars'ın yüzeyinden sinyal gönderdi. Aletleri yaşam izine rastlamadı.

şe ne de şimdiye ait herhangi bir yaşam işareti bulundu.

Devam eden sessizlik

1962'den beri gönderilen 10 yıldızlararası radyo mesajından hiçbirine yanıt alınmadı ve herhangi bir iletişim de saptanmadı. Bununla birlikte, sahte alarmlar da oldu. Bunların en ünlüsü 1977'de, Ohio Eyalet Üniversitesi'nde Jerry Ehman, Chi Sagittarii yıldız sistemi yönünden gelen ve açıklanamaz ölçüde güçlü radyo sinyalleri patlamasını kaydedince gerçekleşti. Göstergedeki sinyalleri daire içine aldı ve yanına "Wow!" yazdı. Ne var ki, "Wow!" sinyali bir daha hiç bulunmadı ve yakın zamanda yapılan araştırmalar, bir kuyruklu yıldızın etrafındaki bir hidrojen bulutundan gelmiş olabileceğini gösteriyor.

Yıldızlar arasındaki geniş mesafeler göz önüne alındığında, karar vermek için henüz çok erken. Arecibo mesajı 25.000 yıl daha hedef yıldızlarına ulaşmayacak. Ne Pioneer levhaları ne de Voyager 1 ve 2'nin taşıdığı altın kaplama diskler –Voyager Altın Kaydı– herhangi bir tikel yıldız sistemine yönelmiştir. Durdurulmazlarsa, Samanyolu'nda sonsuza kadar dolaşıp duracaklar. Sagan'a göre, yaşamı bulmak da bulmamak da bir kazan-kazan senaryosudur – her iki sonuç da, Evren'in doğasıyla ilgili önemli bir şeyi gösterecekti.

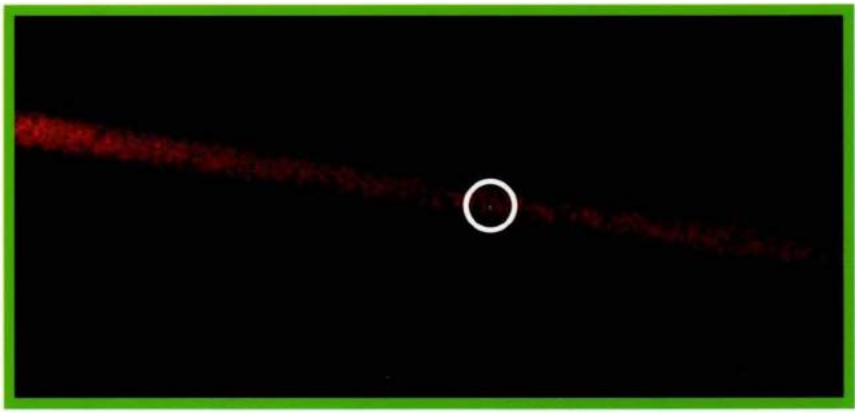
Modern çağda SETI

NASA SETI'ye sağladığı fonu sürdürmeye çalıştı ve bugün SETI, özel fonlarla çalışıyor. 1980'lerden itibaren görevi, California'da Mountain View'da bulunan SETI Enstitüsü üstlendi. Berkeley'de UCal, SETI@ home inisiyatifiyle, bir gönüllü bilgisayarlar ağını, doğal olmayan bir radyo kaynağına işaret edebilecek örüntüleri yakalamak için Arecibo Gözlemevi verilerini taramakla görevlendirdi. Bu arada 2016'da Çin, en büyük radyo teleskobunu, Beş Yüz Metre Çapında Küresel Teleskobu (FAST) tamamladığını duyurdu. FAST, diğer şeylerin yanı sıra, Dünya-dışı iletişim de arayacak. Sonunda, bütün dünyadaki araştırmacıların kullanımına açılacak.

Son yıllarda SETI'nin ilgi odağı, yalnızca mesaj dinlemekten uzaklaştı. Çabalar, yaşamın biyokimyasal işaretlerini ya da ileri teknoloji göstergelerini toplamaya yönlendirildi. Uzaylı yaşam, evrilen gezegen atmosferlerine, değişken moleküllere ya da ancak yaşam süreçleriyle yaratılabilen karmaşık organik kimya-



SETI Enstitüsünün Allen Teleskop Dizisi, radyo astronominin yanı sıra olası uzaylı iletişimlerini aramak için de kullanılır.



Voyager 1, Plüton'un yörüngesinin ötesinden Dünya'nın bu görüntüsünü gönderdi. "Soluk mavi nokta", saçılmış bir Güneş-ışığı bandında görünüyor.

sallara imzasını bırakmış olmalı. Yüksek teknolojili toplumlar, kendi yıldızlarının enerjisini kullanmayı öğrenmiş olabilirler. Enerjisini yakalamak için yıldızın etrafını tamamen ya da kısmen saran devasa bir "Dyson küresi," yıldızın gözlemlenen çıktısını etkilerdi. Asteroid madenciliğinin işaretlerini gözlemlemek ya da doğrudan Dünya-dışı uzay aracı saptamak olanaklı olabilir.

İhtiyatlı bir yaklaşım

2015'te, Rus milyarder Yuri Milner'in desteğiyle Atılım İnisiyatifleri programı başladı. SETI araştırmaları için 1.000.000 dolarlık bir ödül havuzu ve yakındaki bir yıldıza uzay aracı filosu gönderme planının yanı sıra, Dünya-dışı bir uygarlığa gönderilecek dijital bir mesaj tasarlamak için açık bir yarışma ilan edildi. Atılım Mesajı projesi, insanlığı ve Dünya'yı doğru ve sanatsal olarak temsil etmeyi amaçlıyor ama ileri uygarlıklarla ilişki kurmanın riskleri ve ödülleri tartışılana kadar, herhangi bir mesaj iletmeme güvencesi veriyor.

Kendimize bakmak

1990'da Carl Sagan Voyager 1'i kumanda edenleri, kameralarını Dünya'ya çevirmeye ikna etti. 6 milyar kilometre uzakta olan araç, "Soluk Mavi Nokta" görüntüyü yakaladı. Sagan şunları yazdı: "Sevdiğiniz herkes, tanıdığınız herkes, işittiğiniz herkes, şimdiye kadar var olmuş her insan, bir Güneş ışını demetinde asılı bir toz zerresinin üzerinde ömür tüketmiş." Sagan, kendimize bakmanın önemini vurguladı: "Dünya, şimdiye kadar yaşamı barındırdığı bilinen tek dünyadır. En azından yakın gelecekte, türümüzün göç edebileceği başka bir yer yoktur. Ziyaret, evet. Yerleşme, henüz değil. Hoşumuza gitse de gitmese de, şimdilik tezgâhımızı kuracağımız yer Dünya'dır."

SETI, yanıtlarıyla bize Dünya'nın Evren'deki yerini anlatan bir dizi soruyu temsil ediyor: Copernicus ilkesi doğru mu değil mi? Doğruysa, yaşam başka nerede gelişti? Yanıtlar insanlara kendi kökenlerini aşıp, galaktik bir tür olmanın yolunu sunabilir. ■



> Araştırma yapan ilk akıllı tür olmadığımız neredeyse kesindir... Onların azmi, dinleme evresine başlarken en büyük değerimiz olacaktır.
>
> **Project Cyclops Raporu, NASA**

YENİ BİR YILDIZ TÜRÜ OLMALI

KUASARLAR VE PULSARLAR



KISACA

ASTRONOMLAR
Antony Hewish (1924–)
Jocelyn Bell Burnell (1943–)

ÖNCE
1932 İngiliz fizikçi James Chadwick nötronu keşfeder.

1934 Walter Baade ve Fritz Zwicky, süpernova olarak patlayan yıldızların, arkada sıkışık nötronlardan oluşan çökmüş kalıntı bıraktığını öne sürer; bu kalıntılara nötron yıldızı adını verirler.

SONRA
1974 Amerikalı astrofizikçiler Joseph Taylor ve Russell Hulse, birbirinin yörüngesinde dönen, biri pulsar iki nötron yıldızı keşfeder.

1982 Amerikalı astrofizikçi Donald Becker ve çalışma arkadaşları, kendi etrafında saniyede 642 kez dönen ilk milisaniye pulsarı keşfeder.

1950'lerin sonunda dünyanın her tarafında astronomlar, uygun herhangi bir görünür nesne olmadan gökyüzünde gizemli, kompakt radyo sinyalleri kaynağı bulmaya başladı. Sonunda bu radyo dalgalarının bir kaynağı tanımlandı –kuasar olarak bilinen zayıf bir ışık noktası. 1963'te Hollandalı astronom Maarten Schmidt, çok uzak (2,5 milyar ışık yılı) bir kuasar keşfetti. Bu kadar kolay saptanmış olması, enerji akıttığı anlamına geliyordu.

Kuasar arayışı

1960'ların ortasına gelindiğinde birçok radyo astronomu yeni kuasar arıyordu. Cambridge Üniversitesinde bir radyo astronomi araştırma

Ayrıca bakınız: Radyo astronomi 179 ▪ Süpernovalar 180-81 ▪ Kuasarlar ve kara delikler 218-21 ▪ Kara delikleri keşfetmek 254 ▪ Ryle (Rehber) 338-39



grubunun parçası olan Antony Hewish, bunlardan biriydi. Hewish, radyo astronomide, kompakt radyo kaynaklarından gelen radyo emisyonlarının yoğunluğunda bir "kırpışma" ya da dalgalanma olan ve gezegenler-arası kırpışım (IPS) denilen bir fenomene dayanan yeni bir teknik üzerinde çalışıyordu. Yıldız gibi görünür ışık kaynaklarının kırpışmasına, ışığın geçmek zorunda olduğu Dünya atmosferindeki karışıklık neden olur. Radyo kaynaklarının kırpışmasına ise, Güneş'ten yayılan yüklü parçacık akıntısı neden olur. Radyo dalgaları bu "Güneş rüzgârından" geçince kırılır, yani dalgalar yayılır, radyo kaynağının kırpışır gibi görünmesine neden olur. Hewish, kuasar bulmak için IPS kullanılabileceğini umdu. Kuasar gibi kompakt bir kaynaktan gelen radyo dalgaları, galaksi gibi daha az kompakt bir kaynaktan gelen ışınımdan daha fazla kırpışır; bu yüzden kuasarlar, diğer radyo kaynaklarından daha fazla kırpışmalıdır. Hewish ve ekibi, özel olarak IPS saptamak için tasarlanan büyük bir radyo teleskobu yaptı. Yaklaşık 2 hektarlık bir alanı kaplıyordu, yapımı iki yıl sürdü ve tüm sinyalleri taşıyacak 190 kilometreden fazla kablo gerektirdi.

Cambridge radyo astronomi grubunun üyeleri, yeni teleskobu kendileri yaptı. Aralarında doktora öğrencisi Jocelyn Bell de vardı. Teleskop Temmuz 1967'de çalışmaya başlayınca, Hewish'in gözetimi altında teleskobu çalıştırma ve verileri analiz etme sorumluluğu Bell'e verildi. İşinin bir parçası da, kalemli kaydedicilerin grafik kaydedici çıktılar üzerine işlediği teleskop verilerini izlemekti. Her gün yaklaşık 30 metre grafik inceleyen Bell, kırpışma kaynaklarını tanımayı hızla öğrendi.

Küçük Yeşil Adam 1

Yaklaşık iki ay içinde Bell, "serseri" olarak tarif ettiği alışılmadık bir sinyal örüntüsü fark etti. Bir kuasardan gelemeyecek kadar düzenli görünüyordu ve yüksek bir frekansı vardı. Kayıtlarını tekrar kontrol edince, önceki verilerde göründüğünü ve her zaman gökyüzünün aynı bölümünden geldiğini gördü. Şaşıran Bell, gökyüzünün aynı bölgesinin daha fazla grafik kayıtlarını tutmaya başladı. 1967 Kasımının sonunda, sinyali tekrar buldu. Eşit aralıklı ve her zaman 1, 33 saniye arayla bir dizi atımdı.

Bell, "Küçük Yeşil Adam 1" (LGM-1) adını verdiği sinyali Hewish'e gösterdi. İlk tepkisi şu oldu: Her 1,33 saniyede gerçekleşen bir atım yıldız kadar büyük bir şeye göre çok fazla hızlıdır ve sinyalin kaynağı insan faaliyeti olmalı. Bell ile Hewish birlikte çalışıp, Ay'dan



Yengeç bulutsusunda, iyi bilinen bir süpernova kalıntısının, bir pulsarın bu görüntüsü, Chandra X-ışını Gözlemevi tarafından uzayda çekildi. Merkezdeki beyaz nokta nötron yıldızıdır.

yansıyan radar, Dünya-tabanlı radyo vericileri ve özel yörüngelerdeki yapay uydular da dahil, insanla bağlantılı kaynakları ortadan kaldırdı. Atımları toplamak için ikinci bir teleskop bulundu; böylece atımların donanım hatasından kaynaklanmadığı kanıtlandı ve hesaplamalar, atımların Güneş Sistemi dışından geldiğini gösterdi.

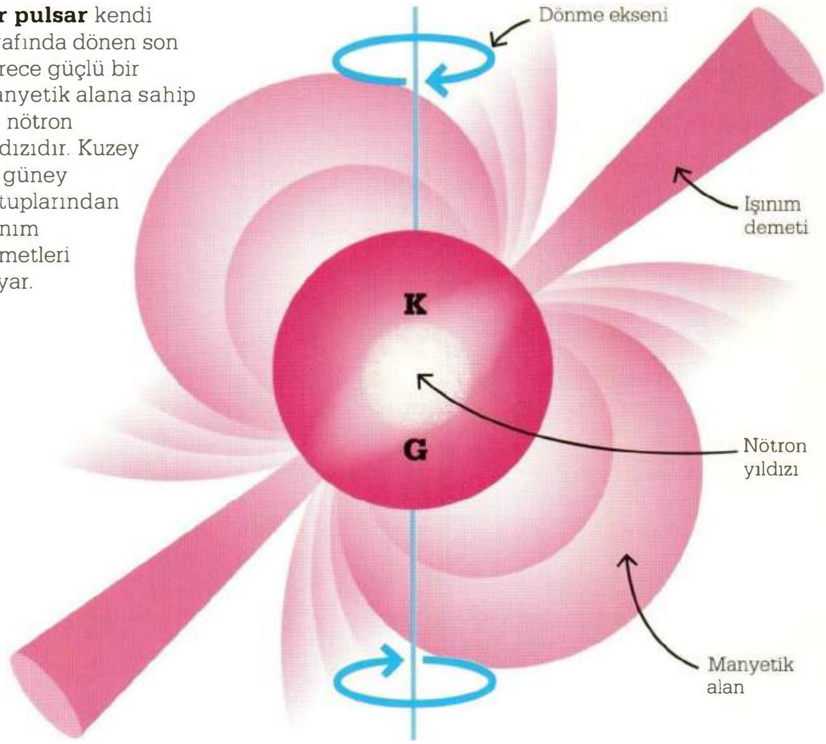
Hewish, sinyallerin insan kaynaklı olduğuna ilişkin kanısını değiştirmek zorunda kaldı. Dünya-dışı varlıklar tarafından gönderilme olasılığı, dışlanamazdı. Ekip her atımın süresini ölçtü ve yalnızca 16 milisaniye olduğunu buldu. Bu kısa süre, kaynağın küçük bir gezegenden büyük olamayacağını göstermekteydi. Ama bir gezegen –ya da gezegende yaşayan bir uzaylı uygarlığı– olası değildi; çünkü bir gezegen yıldızının yörüngesinde dönerken, Doppler kayması (s. 159) denilen hafif frekans değişiklikleri gösterirdi.

Yayınlama açmazı

Hewish, Bell ve çalışma arkadaşları bulgularını nasıl yayımlayacaklarından emin değildi. Sinyallerin uzaylı bir uygarlık tarafından gönderilmesi olası görünmüyordu ama kimsenin başka bir açıklaması da yoktu. Bell kendi grafik analizlerine geri döndü ve gökyüzünün farklı bir bölümünde başka bir "serseri" buldu. Başka bir atımlı sinyalden kaynaklandığını, bu kez biraz daha hızlı, her 1,2 saniyede bir attığını keşfetti. Atımların doğal bir açıklamasının olması gerektiğinden artık emindi –farklı yerlerde iki uzaylı kümesi aynı zamanda ve aşağı yukarı aynı frekansta Dünya'ya sinyal gönderemezdi.

Ocak 1968'e gelindiğinde Hewish ve Bell toplam dört atarlı kaynak bulmuştu; bunlara "pulsar" demeye karar verdiler. İlk kaynağı açıklayan bir makale yazıp, nötron yıldızı denilen süper-yoğun çökmüş teorik bir yıldız tipinin atımlı emisyonlarından kaynaklanabileceğini öne sürdüler. Bu tip nesneler daha önce 1934'te öngörülmüştü ama bu zamana kadar saptanmamıştı.

> Benim Eureka anım gecenin körü, sabahın ilk saatleriydi. Ama grafiklerden sonuçlar dökülünce… bunun ne kadar önemli olduğunu –gerçekten neye konduğunuzu– hemen anlıyorsunuz ve bu harikadır!
>
> **Jocelyn Bell Burnell**



Bir pulsar kendi etrafında dönen son derece güçlü bir manyetik alana sahip bir nötron yıldızıdır. Kuzey ve güney kutuplarından ışınım demetleri yayar.

Atımları açıklamak

Üç ay sonra, ABD'de Cornell Üniversitesinde Avusturya kökenli Amerikalı astronom Thomas Gold, atımlı sinyallerin daha tam bir açıklamasını yayımladı. Radyo sinyallerinden her birinin bir nötron yıldızından geldiğini kabul etti ama yıldızın kendi etrafında hızlı döndüğünü öne sürdü. Buna benzer bir yıldızın, gözlemlenen sinyal örüntüsünü açıklayacak atımlı ışınım yayması gerekmezdi. Onun yerine, bir deniz fenerinden çıkan ışık demeti gibi daireler şeklinde etrafı tarayan bir demet halinde kararlı bir radyo sinyali yayabilirdi. Pulsarın ışın demeti (ya da iki demetinden biri) Dünya'ya doğrultulduğu zaman, Bell'in çıktılarda fark ettiği türden kısa atım olarak kendini gösteren bir sinyal saptanırdı. Işın demeti Dünya'yı geçip gittiğinde, demet tekrar uğrayana kadar sinyal duruyordu. Aşırı hızlı dönüşü ima eden atım oranı konusunda

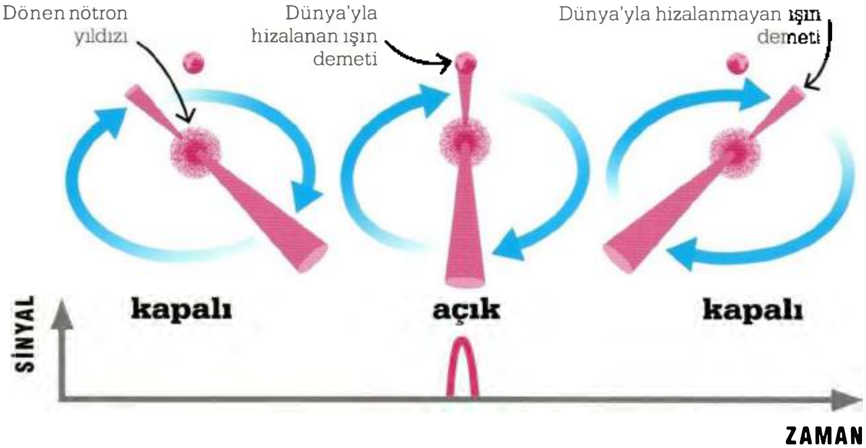
meydan okunan Gold, nötron yıldızlarının oluşma şeklinden –süpernova patlamalarında yıldız çekirdeklerinin çöküşüyle oluşmalarından– ötürü, bu şekilde davranmalarının beklenebileceğini açıkladı.

Varsayımı doğrulamak

Başlangıçta Gold'un açıklamaları, astronomi topluluğunca iyi karşılanmadı. Bununla birlikte, Yengeç bulutsusunda bir pulsar, iyi bilinen bir süpernova kalıntısı keşfedilince, yaygın kabul gördü. Sonraki yıllarda daha fazla pulsar bulundu. Şimdi hızlı dönen, kuzey ve güney kutuplarından elektromanyetik ışınım yayan, yoğun elektromanyetik alanları bulunan nötron yıldızı oldukları biliniyor. Bu ışın demetleri her zaman değil ama çoğu kez radyo dalgalarıdır; bazen de, başka ışınım biçimleridir, bazı durumlarda görünür ışıktır. Pulsarların keşfinin yarattığı heyecanın bir nedeni de, başka bir teorik fenomenin –kara deliklerin– saptanma ve kanıtlanma olasılığını artırmasıdır. Nötron yıldızları gibi kara delikler de, bir süpernova patlamasından sonra bir yıldız çekirdeğinin kütleçekimsel çöküşünden kaynaklanabilen nesnelerdir.

1974'te Hewish ve Martin Ryle Nobel Ödülünü paylaştı: "Ryle gözlemlerinden ve icatlarından ötürü, Hewish pulsarların keşfindeki belirleyici rolünden ötürü." Jocelyn Bell Burnell'e ise, çalışması sırasında öğrenci olduğu için ödüle ortak olamayacağı söylendi. Kararı nezaketle kabul etti. ■

Işınım demetleri yapan bir nötron yıldızı, kendi etrafında dönerken, ışınım demetlerinden biri ya da ikisi uzayı tararken tekrarlı olarak Dünya doğrultusunda olursa bir pulsar olarak saptanabilir. O zaman pulsar, çok düzenli bir dizi sinyal "vuruşu" olarak saptanır.





Jocelyn Bell Burnell

Jocelyn Bell 1943'te Kuzey İrlanda'da, Belfast'ta doğdu. 1965'te Glaskow Üniversitesinden fizik diploması aldıktan sonra, doktorasını yaptığı Cambridge Üniversitesine geçti. Orada kuasar saptamak için bir radyo teleskobu inşa eden ekibe katıldı. 1968'de Bell, Southampton Üniversitesinde araştırma görevlisi oldu ve evlenince soyadını değiştirip Bell Burnell yaptı. Daha sonraki kariyerinde, Londra'da, Edinburgh'da ve 1991'den 2001'e kadar fizik profesörlüğü yaptığı Açık Üniversitede astronomi ve fizikle bağlantılı görevler üstlendi. 2008'den 2010'a kadar Fizik Enstitüsü'nün Başkanlığını yaptı. Bell Burnell, 1989'da Kraliyet Astronomi Derneğinin Herschel Madalyası da dahil, mesleki katkılarından ötürü birçok ödül aldı. 2016'da Oxford Üniversitesinde konuk astrofizik profesörüydü.

Önemli eserleri

1968 *Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source* (Antony Hewish ve diğerleriyle birlikte).



GALAKSİLER ZAMANLA DEĞİŞİR

YILDIZ EVRİMİNİ ANLAMAK

KISACA

ASTRONOM
Beatrice Tinsley (1941–1981)

ÖNCE
1926 Edwin Hubble, şekillerine göre bir galaksi sınıflandırması çıkarır.

1960'ların başı Amerikalı astronom Allan Sandage, disk galaksilerin büyük gaz bulutlarının çökmesiyle oluştuğunu öne sürer. En parlak galaksilerin benzer aydınlatma gücüne sahip oldukları düşüncesine dayanarak uzak galaksilerin mesafesini hesaplar.

SONRA
1977 Kanadalı Brent Tully ve Amerikalı Richard Fisher sarmal galaksilerin aydınlatma gücü ile dönüşleri arasında bir bağ bulur. Bunun, sarmal galaksilerin uzaklığını hesaplamada yararlı olduğu anlaşılır.

1979 Vera Rubin sarmal galaksilerde gerçek dönme hızı ile öngörülen dönme hızı arasında bir tutarsızlık keşfeder, bu tür galaksilerde görülmeyen "kara madde"nin kanıtını sunar.

Yeni Zelandalı genç astronom Beatrice Tinsley 1966'da oldukça özgün bir tez yayımlayıncaya kadar, uzak galaksilere uzaklığı ölçmek için kozmologların kullandığı yöntemler kusurluydu. Bu uzaklıklar için doğru veriler önemliydi; çünkü kozmolojinin en temel sorularından bazılarına, yani Evren'in ortalama yoğunluğu, yaşı ve genişleme oranıyla ilgili soruları yanıtlamaya yardımcıydı.

1960'larda kullanılan bir yöntem, aynı tipte galaksilerin (örneğin dev eliptik galaksiler) kabaca aynı asli parlaklığa sahip oldukları düşüncesine dayanmaktaydı. Bu temelde, uzak galaksilere mesafenin, ışık çıktıları ölçülüp, uzaklıkları bilinen aynı tipte yakın galaksilerin ışık çıktısıyla karşılaştırılarak elde edileceği sanılıyordu.

Tinsley'nin argümanı

Tinsley bu yaklaşıma meydan okuyup, ham ve güvenilmez olduğunu söyledi. Ona göre, galaksilerin uzaklığı ölçülürken, galaksilerin zaman içinde evrim geçirdiği gerçeğine daha fazla önem verilmeliydi. Uzak galaksilerden çıkan ışığın Dünya'ya ulaşması milyonlarca ya da milyarlarca yıl sürebilir; galaksiler, Dün-

Beatrice Tinsley

Beatrice Hill 1941'de Birleşik Krallık'ta, Chesterde doğdu ve dört yaşındayken ailesiyle birlikte Yeni Zelanda'ya taşındı. 1961'de Canterbury Üniversitesinden fizik diploması aldı ve aynı yıl sınıf arkadaşı Brian Tinsley'le evlendi. 1963'te, kocasının üniversitede iş teklifi aldığı Dallas'a taşındılar. Beatrice'in aynı üniversitede çalışmasına izin verilmedi; bunun üzerine o da Austin'de Texas Üniversitesinde öğretmenlik işi buldu.
1966'da, galaksilerin evrimi üzerine bir tezle doktorasını tamamladı. Tinsley kısa sürede kozmoloji alanında etkili bir şahsiyet haline geldi. 1974'te Yale Üniversitesi'nde yardımcı profesör ve 1978'de üniversitenin ilk kadın astronomi profesörü oldu. 1981'de 40 yaşında kanserden öldü. Yeni Zelanda'da Tinsley Dağına, onun adı verildi.

Önemli eserleri

1966 *Evolution of Galaxies and its Significance for Cosmology*

Ayrıca bakınız: Evren'i ölçmek 130-37 ▪ Evren'in doğuşu 168-71 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172-77 ▪ Çekirdekler ve ışınım 185
İlkel atom 196-97 ▪ Kara madde 268-71

Galaksilerin Dünya'dan **görünür parlaklığı** hem uzaklıklarına hem de yaşlarına bağlıdır.

Uzak galaksiler, teleskoplarla milyonlarca ya da milyarlarca yıl önce oldukları şekliyle görülür.

Uzak galaksiler, kısmen **evrimin daha erken bir evresindeyken** görüldükleri için, Dünya'dan görünüşleri bakımından yakın galaksilerden farklıdır.

Galaksilerin **uzaklığı ölçülürken, ne kadar yaşlı** olduklarını hesaba katmak gerekir.

ya'da uzak geçmişteki halleriyle görülür. Ne kadar uzaktalarsa, evrimlerinin o kadar erken bir evresinde görünürler. Başka bir deyişle, eliptik görünen uzak bir galaksi, daha yakın, bilinen eliptik bir galaksiden çok farklı olabilir. Uzak galaksilerin uzaklığı ölçülürken, diyordu Tinsley, galaksiler evrime uğradıkça değişen faktörlere –özellikle farklı kimyasal elementlerin bolluğu ve yıldız doğumu oranı– dayanarak düzeltmeler yapılmalıydı.

Tinsley, galaksilerin parlaklık, şekil ve renk bakımından evrim geçirme yollarının ana hatlarını çizdi. Galaksilerde yıldızlar ve yıldız olmayan malzeme (gaz ve toz) uzun dönemde değişir. Örneğin bazı yıldızlar sonunda dev yıldızlara dönüşür ve yaşlandıkça daha parlak olur; gaz ve toz tüketildikçe yıldız oluşum oranları değişir; yaşlı yıldızlar ölünce yıldızlararası ortam (yıldızların arasındaki madde) hidrojenden ve helyumdan daha ağır elementlerle zenginleşir.

Galaksi modelleri

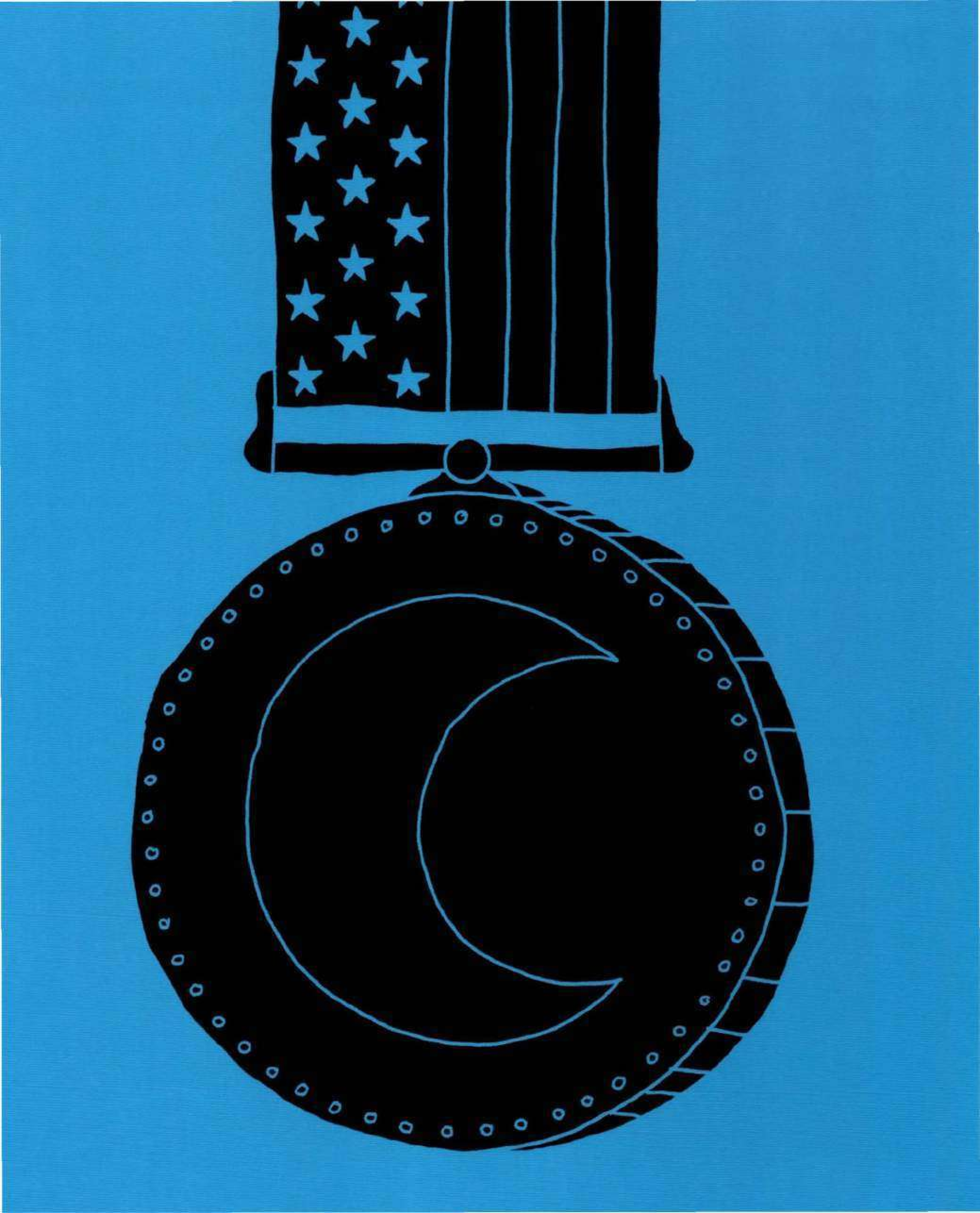
Tinsley'nin tezi, Texas Üniversitesindeki akranları tarafından "olağanüstü ve köklü" olarak nitelendi. Kısa kariyerinin geri kalan kısmında, farklı yıldız popülasyonlarının (grupları) nasıl yaşlandığını ve galaksilerin gözlemlenebilir niteliklerini nasıl etkilediğini incelemeye devam etti. Bundan, galaksilerin evrim geçirme şekillerine ilişkin, yıldız evrimiyle ilgili bir anlayışı yıldız devinimleri ve nükleer fizik bilgisiyle birleştiren modeller geliştirdi. Bugün bu modeller, galaksi evrimi araştırmalarının temelini oluşturmaktadır. Ön-galaksilerin (bebeklik evresinde galaksiler) nasıl olabileceğine ilişkin bilgi de sunarlar. Tinsley'nin çalışmaları Evren'in açık mı (sonsuza kadar genişleyecek mi) yoksa kapalı mı (sonunda genişlemeyi bırakıp daralacak mı) olduğuna ilişkin araştırmalara da katkıda bulundu. Astronomi alanında geçtiğimiz yüzyılın en kavrayışlı teorisyenlerinden biri olan Tinsley, "yıldızların, galaksilerin, hatta bizzat Evren'in evrimiyle ilgili gelecek incelemelere kapıları açan" olarak nitelenmiştir. ■



Bu sanat eseri, Samanyolu içinde, galaksi daha 3 milyar yaşındayken, farazi bir gezegenden gece gökyüzünü tasvir ediyor. Gökyüzü, yeni yıldız doğumunun hidrojen bulutlarıyla ışıl ışıldır.

AY'A GİTMEYİ UYGUN BULUYORUZ

UZAY YARIŞI



KISACA

KURUM
NASA – Apollo (1961–1972)

ÖNCE
1957 Sovyetler Birliği ilk uydu Sputnik 1'i fırlatarak ABD'yi şaşırtır.

1961 Kozmonot Yuri Gagarin uzaya giden ve Dünya'nın yörüngesinde dönen ilk kişi olur.

SONRA
1975 İlk ABD-SSCB ortak uzay projesi, Uzay Yarışını resmen sona erdirir.

1994-1998 ABD ve Rus uzay ajansları, Mekik-Mir programlarında beceri ve uzmanlık paylaşır.

2008 Hint uzay aracı Chandrayaan-1, Ay'ın yüzeyinde yaygın donmuş su kanıtları bulur.

2015 Çin gezgini Yutu, Ay'da yeni tip bir bazalt da dahil, farklı kaya tabakaları keşfeder.

1960'ların başında ABD, "Uzay Yarışında" Sovyetler Birliği'nin gerisindeydi. Sovyetler 1957'de ilk uyduyu fırlatmıştı ve 16 Nisan 1961'de de Yuri Gagarin uzaya çıkan ilk insan olmuştu. Buna yanıt olarak 1961'de ABD Başkanı John Kennedy, on yıl bitmeden Ay'a insan indirmeyi açıkça taahhüt etti. Proje özenle seçilmişti – Ay'a ayak basmak, her iki ülkenin yeteneklerinin o kadar ötesindeydi ki, Sovyetlerin başlangıçtaki öncülüğü önemsiz görünebilirdi.

O sırada, özellikle işin tehlikeleri ve teknik karmaşıklıkları göz önüne alındığında, Ay'a ayak basmanın bilimsel değeri konusunda birçok çekinceye rağmen, ABD uzay programının odağında insanlı uzay uçuşu vardı. NASA yöneticileri, yeterli mali kaynakla, 1967'de Ay'a bir insan indirebileceklerini düşündüler. NASA yöneticisi James E. Webb, her ihtimale karşı iki yıl daha eklenmesini önerdi.

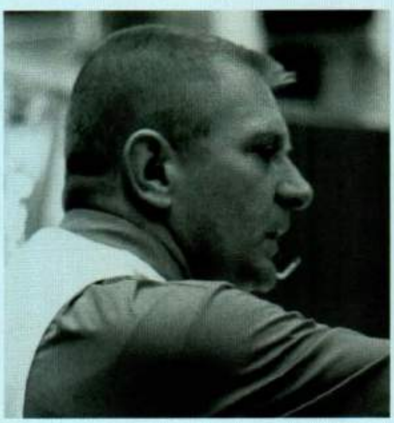
1961'den 1967'ye kadar altı yıl içinde, donanımın planlanması, tasarlanması ve yapılı özel sanayi, araştırma enstitüleri ve üniversiteler tarafından üstlenilmesine rağmen, NASA işgücünü üçe katladı. NASA, yalnızca Panama Kanalının yapımı ile nükleer bomba geliştiren Manhattan Projesinin, Apollo programının masraflarıyla ve gayretiyle boy ölçüştüğünü iddia etti.

> Bu ulusun, on yıl sona ermeden, Ay'a insan gönderme ve güven içinde Dünya'ya geri getirme hedefine ulaşmaya kendini adayacağına inanıyorum.
> **John F. Kennedy**

Ay'a hangi yolla?

Kennedy'nin tarihsel açıklaması sırasında ABD, 15 dakikalık insanlı uzay uçuşuyla övünüyordu. Oradan Ay'a gitmek için birçok teknolojik engelin aşılması gerekiyordu. İlk engel Ay'a ulaşmanın yöntemiydi. Masada, görev mimarileri olarak bilinen üç seçenek vardı. Doğrudan

Gene Kranz



NASA ruhunun cisimleşmesi, herhalde kahraman astronotlar değil, efsanevi Apollo'nun uçuş direktörü Gene Kranz'dır. 1933'te doğan Kranz, erken yaşta uzaya merak sardı. ABD Hava Kuvvetlerinde pilotluk yaptıktan sonra, oradan ayrılıp McDonnell Aircraft Corporation'da ve daha sonda NASA'da roket araştırmalarına katıldı.

Kısa kesilmiş saçlarıyla göze çarpan renkli kişilik Kranz, karısının yaptığı şık beyaz "görev" yeleği içinde Görev Kontrol Merkezinde kolay fark edilirdi. "Başarısızlık bir seçenek değildir" sözünü hiç söylememiş olmasına rağmen –Apollo 13 filminde onu canlandıran karakter için yazılan sözlerdi– onun tutumunu özetlemekteydi. Apollo 1 felaketinden sonra Kranz'ın Uçuş Kontrol personeline yaptığı konuşma, tarihe bir motivasyon konuşması şaheseri olarak geçmiştir. Bu konuşmada, Görev Kontrol Merkezine yol gösteren Kranz Hükmünü ifade etti –"çetin ve yetkin." Kranz, Apollo 13'ü başarıyla Dünya'ya geri getirdiği için 1970'te Başkanlık Özgürlük Madalyasıyla ödüllendirildi.

Ayrıca bakınız: Sputnik'in fırlatılması 208-09 ▪ Kuyrukluyıldızları anlamak 306-11 ▪ Mars'ı araştırmak 318-25



Merkür Projesi astronotu John Glenn 20 Şubat 1962'de Friendship 7'ye giriyor. Yalnızca beş saat süren görevi, ABD'nin ilk insanlı yörüngesel uzay uçuşuydu.

yükselme (DA) profili ya da "her şekilde," mürettebatı Dünya'ya geri getirmek için yeterli yakıt yüküyle birlikte çok evreli muazzam bir roket gerektirmekteydi. Başlangıçta tercih edilen yaklaşım buydu. Bununla birlikte, en pahalı yaklaşımdı ve 1969'dan önce böylesine ucube bir roket yapmanın gerçekleşebilirliğiyle ilgili kuşkular yükseldi.

Dünya yörüngesinde randevu (EOR) profilinde, uzayda Ay'a doğru bir roket gemi inşa edilecek ve yörüngeye yerleştirilmiş modüllere kenetlenecekti. Şeyleri uzaya çıkarmak, Dünya'dan uzaklaşan her görevin en fazla enerji tüketen kısmıdır, ama çok sayıda roket fırlatmak tek bir uzay gemisi ihtiyacını ortadan kaldıracaktı. En güvenli seçenek buydu ama çok yavaştı.

Gerçek ağırlık tasarrufu, Ay yörüngesinde randevu (LOR) profiliyle geldi. Burada daha küçük bir roket, üç parçalı bir uzay gemisini Ay'ın yoluna koyacaktı. Ay'da, bir komuta modülü, eve dönüş yakıtıyla birlikte yörüngede kalacaktı; iki evreli hafif bir Ay'a iniş aracı yüzeye gönderilecekti. Bu hızlı ve görece ucuz seçeneğin, bir terslik durumunda mürettebatı uzayda bırakma riski vardı. Epeyce tartışmadan ve lobi faaliyetinden sonra, NASA'nın Mars hall Uzay Uçuşu Merkezi müdürü Wernher von Braun gibi etkili kişiler LOR'a destek verdi ve 1962'de LOR tercih edildi. Bu, Apollo için ilk inanç sıçramasıydı.

Teknolojik engeller

20 Şubat 1962'de John Glenn, 1958'den 1963'e kadar süren ABD'nin ilk uzay uçuşu programı Merkür Projesinin bir parçası olarak, Friendship 7'nin içinde Dünya'nın etrafında üç tur dönerek Dünya'nın yörüngesinde dönen ilk Amerikalı oldu. Bunu üç başarılı Merkür uçuşu izledi ama alçak Dünya yörüngesindeki operasyonlar ile Ay'a ayak basma arasında büyük bir fark vardı. Tamamen yeni bir fırlatma araçları filosuna ihtiyaç vardı. Tek bir astronot taşıyan Merkür uzay aracından farklı olarak Apollo görevlerinin üç kişilik bir mürettebata ihtiyacı vardı. Ayrıca daha güvenilir bir güç kaynağına ve uzayda daha fazla deneyime ih-



> Bugünden itibaren Uçuş Kontrolü iki sözcükle anılacak: "Çetin ve Yetkin."
> **Gene Kranz**

tiyaç vardı. Güç sağlamak için dünyanın ilk yakıt hücreleri yapıldı.

NASA'nın ikinci insanlı uzay uçuşu programı Gemini Projesi uzay uçuşlarına dayanıklılık, yörünge manevraları ve uzay yürüyüşü becerileri kazandırdı. Bilim insanlarının Ay'ın yüzeyiyle ilgili daha fazla şey bilmeleri de gerekiyordu. Kalın bir toz tabakası bir uzay aracını yutabilir, kalkmasını önleyebilir, iticileri tıkayabilir ya da elektronik aletlerin bozulmasına neden olabilirdi.

Apollo'ya paralel insansız bilgi toplama misyonları monte edildi ama Ay'a gönderilen ilk robot kâşif dalgası tam anlamıyla bir başarısızlık oldu. Altı Ranger iniş aracı fırlatılırken başarısız oldu, Ay'ı ıskaladı ya da çarpma sırasında parçalandı; bu yüzden programa "fırlat ve umut et" lakabı takıldı. Neyse ki, son üç Ranger daha başarılı oldu.

1966 ile 1967 arasında beş Lunar Orbiter uydusu Ay'ın etrafında yörüngeye oturtuldu. Yüzeyin yüzde 99'unun haritasını çıkardılar ve Apollo'nun ineceği potansiyel yerlerin tanımlanmasına yardımcı oldular. NASA'nın yedi Surveyor uzay aracı da Ay toprağına yumuşak inişin olabilirliğini gösterdi.

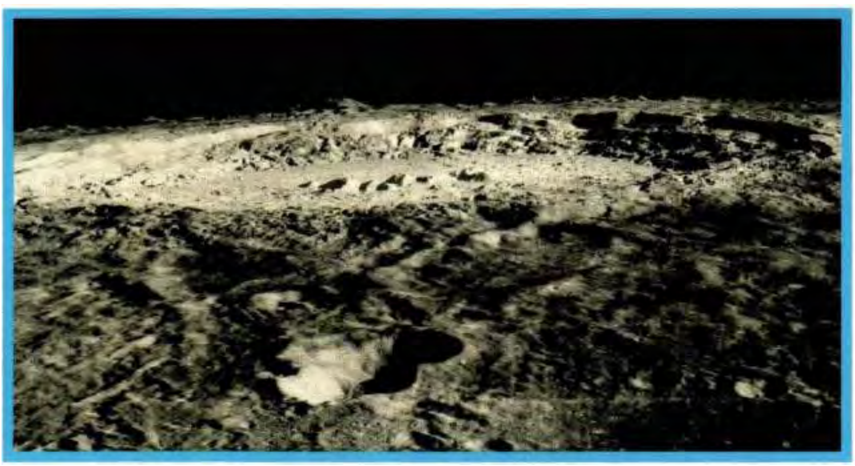


Satürn V roketi, Apollo programı için geliştirildi. Üretimine, Boeing, Crysler, Lockheed ve Douglas da dahil, çok sayıda özel şirket katıldı.

Bir kumar ve bir felaket

110,5 metreyle Satürn V –Apollo astronotlarını Dünya'nın atmosferinde taşıyan ağır yük kaldırıcı– hâlâ o zamana kadar yapılmış en uzun, en ağır ve en güçlü roketti. "İnsan sınıfı" roketin (insan mürettebat taşıyacağının belgesi) özellikle sorunlu olduğu anlaşıldı. Devasa motorlar, roketin parçalanmasına neden olabilecek titreşimler yaratıyordu. Projenin geciktiğini bilen NASA'nın insanlı uzay uçuşundan sorumlu müdür yardımcısı George Mueller, cüretkâr bir "topyekûn" test rejimine öncülük etti. Von Braun'un tercih ettiği ihtiyatlı aşama-aşama yaklaşımı yerine, Mueller, Apollo-Satürn sistemlerini birlikte test ettirdi.

NASA mühendisleri kusursuzluk peşinde koşarken yeni bir mühendislik kavramı geliştirdiler: yedekleme kavramı. Genel güvenirliği artırmak için kilit ya da hassas bileşenler çift yapıldı. Merkür ve Gemini projeleri mühendislere, öngörülmeyen riskleri beklemeyi öğretmişti. Montajı tamamlanmış bir Apollo'nun 5,6 milyon parçası ve 1,5 milyon sistemi, alt-sistemi ve düzeneği vardı. Yüzde 99,9 güvenilirlikle bile, mühendisler 5600 kusur bekleyebiliyordu. Yine de, 17 insanlı ve 15 insansız



Lunar Orbiter uyduları potansiyel iniş yerlerinin görüntülerini çekti. 1966'da Lunar Orbiter 2, Ay'ın ilk yakın çekim görüntülerinden biri olan Copernicus Kraterinin bu görüntüsünü gönderdi.

uçuşuyla Satürn iticiler yüzde 100 güvenilirlik göstermişti. Kısmen başarılı iki test uçuşuyla yetinen Mueller, bir sonraki fırlatmanın astronot taşıyacağını ilan etti.

1967'ye kadar ilerleme çok hızlı olmasına rağmen, pürüzsüz olmuştu. Sonra bir felaket geldi. Bir fırlatma provası sırasında bir elektrik kısa devresi, Apollo 1 mürettebatını Komuta Modülünde yakıp kül eden bir yangın başlattı. Saf oksijen bulunan basınçlı bir atmosferde yangının yoğunluğu ve zehirli dumanı Virgil "Gus" Grissom, Ed White ve Roger Chaffee'yi beş dakikadan az bir sürede öldürdü. Bu trajediden sonra beş Apollo misyonu insansız test edildi. Yapılan değişiklikler sonucunda, yeni bir gaz çıkış kapağıyla, kokpitte 60-40 oksijen-nitrojen karışımıyla ve yanmaz elektrik tesisatıyla daha güvenli bir uzay aracı ortaya çıktı.

Dünya'nın uzaydaki yeri

Apollo 8, Dünya'nın yörüngesinden ayrılan ilk insanlı uzay aracıydı. 1968 Noel Arifesinde Frank Borrnan, James Lovell ve Bill Anders Ay'ın diğer tarafına geçti ve Ay yüzeyinin arkasından yükselen Dünya'nın şaşırtıcı görüntüsüne tanık oldu. İlk kez insanlar kendi yuvalarını uzaydan görebiliyordu –büyük boşlukta kaybolmuş çarpıcı ölçüde mavi bir dünya. Anders'in ifadesiyle: "Bu kadar yolu Ay'ı araştırmak için geldik ve en önemlisi, Dünya'yı keşfettik."

> "Arabasını Güneş'e süren Apollo, önerilen programın büyük ölçeğine uygundu."
> **Abe Silverstein**

Mürettebat aynı zamanda Van Allen ışınım kuşaklarını geçen ilk insanlardı. Bu yüklü parçacık bölgesi Dünya'dan 24,000 kilometreye kadar çıkar ve başlangıçta, insanın uzay yolculuğu önünde ciddi bir engel olduğu düşünülüyordu. Bu yolculuk, bir akciğer röntgenine eşdeğer bir ışınım dozajıyla sonuçlandı.

Sonunda program son adıma – bizzat Ay'ın kendisine gerçek adım atmaya– hazır hale geldi. 21 Temmuz 1969'da dünya çapında tahmini 500 milyon izleyici, Neil Armstrong'un Ay Modülünü Ay'ın yüzeyine indirmesini ve modülden çıkıp Ay'a ayak basmasını izlemeye kilitlendi. Bu, yaklaşık on yıllık ortak bir çabanın ürünüydü ve Uzay Yarışına fiilen son verdi.

1968'de Apollo 8 Ay yörüngesinden naklen yayın yapıyor. Astronot Bill Anders'in uzay aracından çektiği görüntüler arasında, iz bırakan Dünya'nın doğuşu da vardı.





Neil Armstrong Ay'ın yüzeyinde Buzz Aldrin'in bu ünlü fotoğrafını çekti. Ay modülünün yanında duran Armstrong'un yansıması, Aldrin'in başlık siperliğinde görülebilir.

Apollo 11'den sonra Ay'a altı görev uçuşu daha yapıldı; bunların arasında, 1970'te oksijen tankı patlayınca aya iniş aracı iptal edilen ve felaketin eşiğinden dönen Apollo 13 de vardı. Mürettebat, dünya çapında televizyon izleyicilerinin önünde oynanan gerçek yaşamdan bir dramla, arızalı uzay aracıyla sağ salim Dünya'ya döndü.

Ay hakkında bilgi edinmek

Apollo'dan önce, Dünya'nın tek doğal uydusunun fiziksel doğası hakkında bilinenlerin çoğu tahmindi ama siyasal hedeflere ulaşılmasıyla birlikte, yabancı bir dünyayı ilk elden öğrenme fırsatı doğdu. Altı iniş misyonunun her biri, bir bilimsel alet takımı taşıdı –Apollo Lunar Surface Experiments Package (ASLEP –Ay Yüzeyi Deneyleri Paketi). Apollo'nun aletleri Ay'ın iç yapısını test edip, bir "ay depremi"ne işaret eden sismik titreşimler saptadı. Diğer deneyler, Ay'ın kütleçekimini ve manyetik alanlarını, yüzeyinden ısı akışını, Ay atmosferinin bileşimini ve basıncını ölçtü.

Apollo sayesinde bilim insanları, Ay kayaçlarının analizinden, Ay'ın bir zamanlar Dünya'nın parçası olduğuna ilişkin (s. 186-87) zorlayıcı kanıtlar elde ettiler. Dünya gibi Ay'ın da iç katmanları vardı ve erken tarihinin bir noktasında erimiş olması çok olasıydı. Bununla birlikte, Dünya'dan farklı olarak Ay'ın sıvı suyu yoktur. Hareket eden jeolojik levhaları olmadığı için, yüzeyi sürekli değişmez; bu yüzden en genç Ay kayaları, Dünya'nın en yaşlı kayalarıyla aynı yaştadır. Bununla birlikte Ay jeolojik olarak tamamen eylemsiz değildir ve arada bir saatlerce süren Ay depremleri olur.

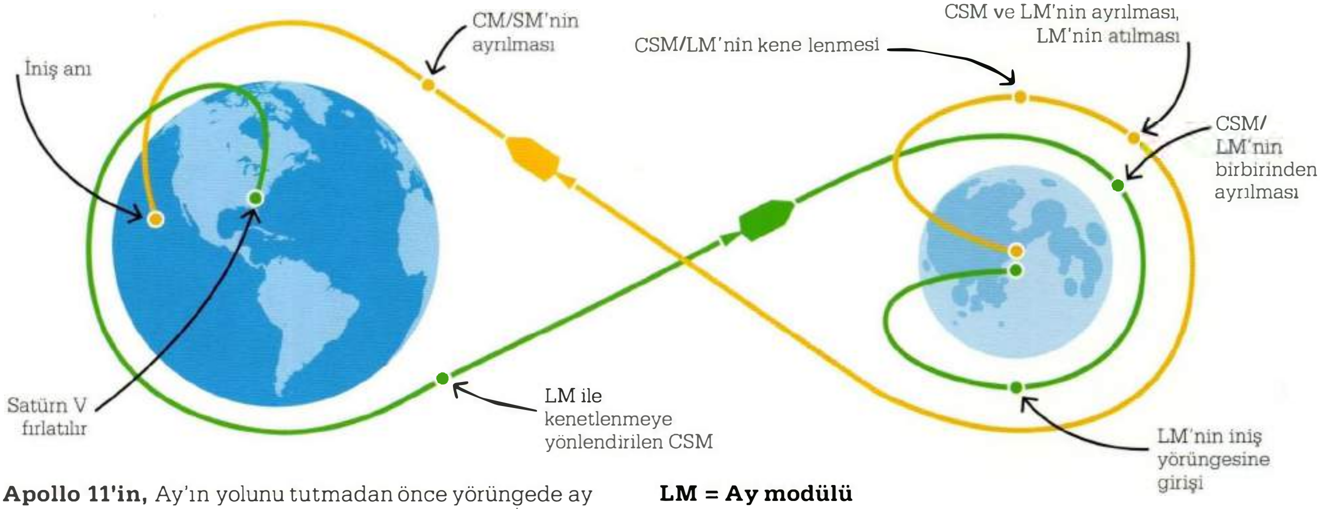
Apollo 11 deneyi hala aktiftir ve 1969'dan beri veri göndermektedir. Ay yüzeyine yerleştirilen yansıtıcılar, Dünya'dan ateşlenen lazer demetlerini geri gönderip, bilim insanlarının Ay'a uzaklığı iki milimetrelik bir hassaslık derecesiyle hesaplamalarını olanaklı kılmaktadır. Bu, Ay'ın yörüngesine ve Dünya'dan uzaklaşma hızına (yılda yaklaşık 3,8 santimetre) ilişkin kesin ölçümler verir.

Apollo'nun mirası

19 Aralık 1972'de, Apollo 17 kapsülü Dünya atmosferine girerken, Güney Pasifik üzerinde duyulan ses patlaması Apollo programının sona erdiğini söylüyordu. Ay'da toplam 12 insan yürümüştü. O sırada, Mars'a rutin uçuşların kısa sürede gerçekleşeceği sanılmaktaydı; ama aradan gecen 40 yılda bilimsel öncelikler değişti, politikacılar maliyetlerden endişe etti ve Dünya yörüngesinin ötesine insanlı uzay yolculuğuna cesaret edilmedi.

Birçok kişiye göre, insanlı Ay misyonlarını sona erdirme kararı, hayalgücü ve önderlik yoksunluğundan ötürü bir fırsatın heba edil-

> Houston. Burası Sükûnet Üssü. Kartal indi.
> **Neil Armstrong**



Apollo 11'in, Ay'ın yolunu tutmadan önce yörüngede ay modülüyle kenetlenen komuta ve hizmet modülü. İnişten önce servis modülü atıldı ve yalnızca komuta modülü Dünya'ya döndü.

LM = Ay modülü
CM = Komuta modülü
SM = Hizmet modülü
CSM = Komuta hizmet modülü

mesiydi. Ne var ki, Apollo programına yol açan keskin Soğuk Savaş rekabetinin sona ermesi, NASA için, Skylab, Mir ve Uluslararası Uzay İstasyonuyla yeni bir uluslararası işbirliği çağının habercisiydi.

Ay'daki son insan Gene Cernan, Apollo misyonlarının gerçek önemini insanoğlunun takdir etmesinin 100 yıl daha sürebileceğini ifade etti. Bunun bir sonucu, ABD'yi daha akılı yapmış olabilir –Amerikan üniversitelerinde doktora yapanların sayısı, 1960'larda özellikle fizik alanında üç kat arttı.

Apollo sözleşmeleri bilgisayar ve yarı-iletkenler gibi yeni doğan sanayileri de besledi. California merkezli Fairchild Semiconductors'un birçok çalışanı daha sonra, teknoloji devi Intel dahil, yeni şirketler kurdu. Bu firmaların üslendiği Santa Clara bölgesi, bugünün Silikon Vadisi oldu. Ama herhalde Apollo'nun gerçek mirası, uzayda kırılgan bir yaşam vahası olarak Dünya düşüncesidir. "Mavi Mermer" ve "Dünya'nın doğuşu" (s. 247) gibi yörüngeden çekilen fotoğraflar, yegâne bir varlık olarak Dünya gezegenine ilişkin artan bir farkındalığı ve özenli kahyalığa olan ihtiyacı besledi. ■



Son üç Apollo misyonunda astronotlar ay gezginleriyle Ay'ın yüzeyine araştırdı. Gezginler terk edildi ve bırakıldıkları yerde hâlâ görülebilirler.



GEZEGENLER BİR TOZ VE GAZ DİSKİNDEN OLUŞTU

BULUTSU VARSAYIMI

KISACA

ASTRONOM
Viktor Safronov (1917–1999)

ÖNCE
1755 Alman filozof Immanuel Kant, Güneş Sisteminin çöken büyük bir gaz bulutundan oluştuğunu savunur.

1796 Pierre-Simon Laplace, Kant'ınkine benzer bir Güneş Sistemi oluşumu modeli geliştirir.

1905 Amerikalı jeolog Thomas Chrowder Chamberlin, gezegenlerin "gezegencikler" dediği parçacıklardan geliştiğini öne sürer.

SONRA
1980'ler Beta Pictoris gibi görünürde genç birçok yıldızın, soğuk toz diskleriyle çevrili olduğu görülür.

1983 Kızılaltı Astronomi Uydusu fırlatılır. Birçok yıldızın, yörüngesinde dönen daha soğuk malzeme diskleri varsa açıklanabilen aşırı bir kızılaltı ışınıma sahip olduğunu gözlemler.

Yüzyıllarca astronomlar, Güneş'in ve gezegenlerin nasıl oluştuğunu açıklamak için çeşitli modeller önerdi. 18 ve 19. yüzyılda bulutsu varsayımı öne çıktı. Bu varsayıma göre Güneş Sistemi, çöken ve dönmeye başlayan dev bir toz ve gaz bulutundan ortaya çıktı. Malzemenin büyük bölümü merkeze çöküp Güneş'i oluşturdu; gerisi düzleşip, kendi etrafında dönen bir malzeme diskine dönüştü ve ondan da gezegenler ve daha küçük nesneler oluştu. Bu varsayımın bir versiyonunu, 1796'da Fransız Pierre-Simon Laplace öne sürdü.

1960'ların sonunda Viktor Safronov Moskova'da bir bulutsuda gezegenlerin nasıl oluşabileceği üzerine çalışıyordu. 1969'da önemli bir makale yazdı; 1972'de İngilizce bir versiyonu yayımlanıncaya kadar, Sovyetler Birliği dışında kimsenin bu makaleden haberi olmadı. Safronov'un, bugün Güneş bulutsusu diski modeli (SNDM) olarak bilinen teorisi, özünde bulutsu varsayımının değiştirilmiş, matematiksel olarak daha tam işlenmiş bir versiyonuydu.

İlk Güneş'in yörüngesinde dönen **malzeme diskinde parçacıklar arada bir çarpışırdı.**

→

Bu çarpışmalarda yavaş hareket eden bazı **parçacıklar birbirine yapışıp** daha büyük parçacıklar oluşturdu.

↓

Zaman içinde **daha büyük gezegencikler** oluştu. Bunlar kümelenip, **gezegenlerin ortaya çıkmasına** yol açan birkaç büyük cisme dönüştü.

↓

Gezegenler bir toz ve gaz diskinden oluştu.

Ayrıca bakınız: Kütleçekim tedirginliği 92-93 ■ Kuiper kuşağı 184 ■ Oort bulutu 206 ■
Dev molekül bulutlarının içinde 276-79

Viktor Safronov

Viktor Sergeeviç Safronov 1917'de Moskova yakınlarında Velikiye Luki'de doğdu ve 1941'de Moskova Devlet Üniversitesi Mekanik ve Matematik Bölümünden mezun oldu. 1948'de doktora diploması aldı. Safronov meslek yaşamının önemli bir bölümünü, Moskova'da Bilimler Akademisinin bir parçası olan Schmidt Yer Fiziği Enstitüsünde çalışarak geçirdi. Orada bir süre birlikte çalıştığı karısı Eugenia Ruskol'la tanıştı. 1950'lerden 1990'lara kadar, gezegenlerin bir toz ve gaz diski içinde oluştuğu düşüncesini modellemek üzerine çalıştı. Bugün, alternatif teoriler de var olmasına rağmen, Safronov'un gezegen oluşumuna ilişkin gezegencik varsayımı yaygın kabul görmektedir. 1991'de Sovyetler Birliği'nin yıkılışından sonra düşüncelerini Batıda açıklama olanağı buldu.

Önemli eserleri

1972 *Evolution of the Protoplanetary Cloud and Formation of the Earth*

1940'lara kadar astronomlar, bulutsu varsayımının “açısal momentum sorunu” olarak bilinen büyük bir kusur barındırdığını düşündüler. Yaptıkları hesaba göre, Güneş Sistemi büzülen, dönen bir buluttan oluşmuş olsaydı, Güneş'in gerçekte olduğundan daha hızlı dönmesi gerekirdi. 20. yüzyılın ilk yarısında, çok sayıda alternatif varsayım bulutsu varsayımıyla yarıştı. Bir varsayıma göre gezegenler, geçen bir yıldızın Güneş'ten kopardığı malzemeden oluşmuş olabilirdi; başka birine göre Güneş yoğun bir yıldızlararası bulutun içinden geçti, gaza ve toza bürünmüş olarak çıktı, gezegenler bu toz ve gazdan oluştu. Sonunda, bu alternatifleri reddetmek için sağlam nedenler ortaya çıktı.

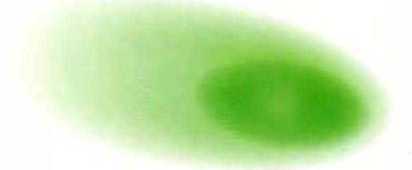
Safronov'un teorisi gelişir

Yılmayan Safronov, Laplace'ın önerdiği malzeme diskinde gezegenlerin nasıl oluşmuş olabileceğini ayrıntılı bir biçimde inceledi. Bu disk, hepsi ilk Güneş'in etrafında dönen toz tanelerinden, buz parçacıklarından ve gaz moleküllerinden oluşmuştu. Safronov'un atılımı, bazı parçacıkların çarpışmasının böyle bir sistem üzerindeki etkisini hesaplayınca geldi. Parçacıkların çarpışma hızlarını ortaya çıkardı. Yüksek hızlarda yol alan parçacıklar birbirine tokuşup seker. Ama daha yavaş hareket eden parçacıklar birbirine yapışıp, daha büyük parçacıklar oluşturur. Parçacıklar büyüdükçe, her parçacığın kütleçekim, parçacıkların bütünleşip, gezegencik denilen daha büyün nesnelerin oluşmasına neden olur.

Daha büyük nesneler daha büyük kütle çeker ve en büyük gezegencikler, kütleçekim menzillerinin içinde kalan her şeyi toplayana kadar büyür. Birkaç milyon yıl sonra, gezegen boyutunda yalnızca birkaç cisim kalır.

1980'lere gelindiğinde, SNDM konusunda geniş bir görüş birliği vardı. Bir araştırmacı, açısal momentum sorununun, ilk diskteki toz tanelerinin merkezde dönüşü yavaşlatmasıyla çözülebildiğini öne sürdü. Bazıları, Safronov'un düşüncelerini bilgisayar modellerine aktarıp, ilk Güneş'in yörüngesinde dönen parçacıklar sisteminin gerçekten de bir avuç gezegen oluşturabildiğini gösterdi. Yakın zamanda, görünürde genç yıldızların etrafını saran soğuk toz disklerinin gözlemlenmesi de SNDM'yi desteklemektedir. ■

Safronov'un modelinde gezegenler, yeni oluşan Güneş'in etrafında dönen bir malzeme diski içinde birbirine yapışan toz ve buz parçacıklarından oluştu.



1 Büyük bir gaz ve toz bulutu toplanmaya ve yavaş yavaş dönmeye başlar.



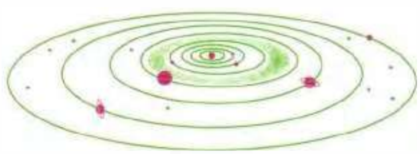
2 Bulut yassılaşıp dönen bir diske dönüşür; daha yoğun, daha sıcak olan diskin merkezi Güneş'i oluşturur.



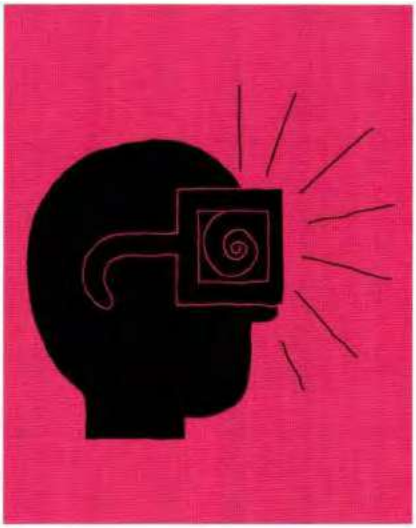
3 Güneş ışınımı, İç Güneş Sistemini ısıtır.



4 Demir ve silikat toz bakımından zengin gezegencikler oluşmaya başlar.



5 Güneş Sistemi oluşur.



GÜNEŞ NÖTRİNOLARI, ANCAK ÇOK BÜYÜK BİR DEDEKTÖRLE GÖRÜLEBİLİR

HOMESTAKE DENEYİ

KISACA

ASTRONOM
Ray Davis (1914–2006)

ÖNCE
1930 Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli, nötrinoların varlığını öne sürer.

1939 Hans Bethe, yıldızların enerji edinmelerini sağlayan iki ana sürecin ana hatlarını çizer.

1956 Amerikalı fizikçiler Clyde Cowan ve Frederick Reines nötrinonun karşı-parçacığı, karşı-nötrinonun varlığını doğrular.

SONRA
1989 Japonya'da Masatoşi Koşiba'nın örgütlediği Kamiokande II deneyi, Güneş'in bir nötrino kaynağı olduğunu kesin bir biçimde kanıtlar ve Davis'in anormal ölçüde düşük saptama oranını doğrular.



20. yüzyılın ilk yarısında bilim insanları, Güneş'in hidrojeni eritip helyuma dönüştürerek enerji üretme sürecini ortaya çıkardı. Güneş'in merkezinde, tek proton olan dört hidrojen çekirdeği bir helyum çekirdeğine, iki pozitron (anti-elektron da denilir) ve nötrino denilen hayalet benzeri iki küçük parçacığa dönüşür. Üretilen nötrinoların, Güneş'ten kolayca kaçtıkları düşünülürdü.

Bu teori 1950'lerde kabul edilmesine rağmen, kanıtlanmadı. 1955'te Amerikalı kimyacı Ray Davis, Güneş'in enerji yüklü nötrinolar ürettiğini birkaçını saptayarak gösterdi. Ne var ki, bu amaca ulaşırken büyük bir sorunla karşılaştı. Varlıklarının kesin olmaması dışında, bilim insanları nötrinoların sıfır elektrik yüklü ve küçük kütleli (eğer varsa) olduklarını, diğer parçacıklarla çok nadir etkileştiklerini düşünüyorlardı. Bilim insanlarına göre, eğer Güneş hidrojen eritiyorsa, her saniye Dünya yüzeyinin her santimetrekaresinden milyarlarca nötrino geçer ama ancak

Ayrıca bakınız: Kozmik ışınlar 140 ▪ Enerji üretimi 182-83 ▪ Kütleçekim dalgaları 328-31

"Nötrino fiziği, büyük ölçüde, hiçlik gözlemleyerek çok şey öğrenme sanatıdır.
Haim Harari
İsrailli fizikçi

yüz milyarda biri atomlu maddeyle etkileşebilirdi.

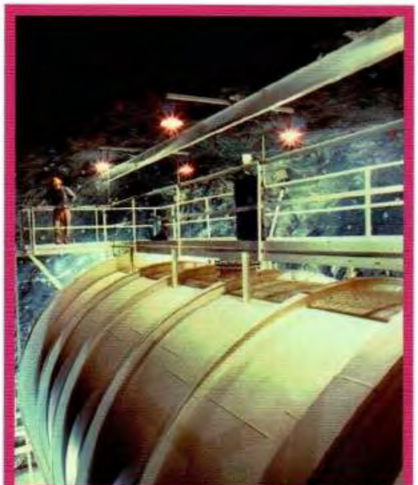
Davis nötrinoların, beta bozunumu denilen bir radyoaktif bozunum tipine bulaşmalarıyla saptanabileceklerini düşündü. Teoride enerji yüklü bir nötrino, bir atom çekirdeğindeki bir nötronu bir protona çevirebilmeliydi. Deneylerinde Davis, çok ender durumlarda, klor-içeren bir madde tankından geçen bir nötrinonun kararlı bir klor atomunun çekirdeğiyle etkileşip, argon-87 denilen kararsız bir argon izotopunun çekirdeğini ürettiğini buldu.

Homestake deneyi

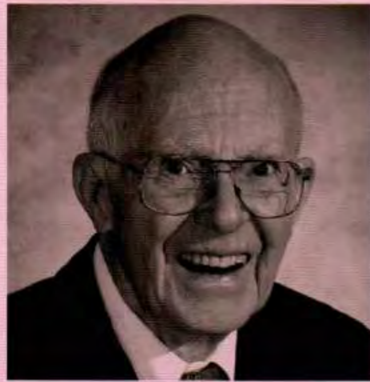
1964'te, Davis, Homestake denilen bir deneyle, klor-içeren büyük bir kimyasal tankını dedektör olarak kullanan bir deneye başladı. Davis'in bir tanıdığı, astrofizikçi John Bahcall, Güneş'in üreteceği farklı enerjili nötrinoların sayısını ve bundan hareketle, tankta argon-37'nin üretilme oranını hesapladı. Davis, üretilen argon-37 atomlarının fiili sayısını saymaya başladı.

Davis'in deneyi Güneş'in nötrino ürettiğini kesin bir biçimde göstermesine rağmen, Bahcall'ın öngördüğü argon-37 atomu sayısının yalnızca üçte biri saptandı. Öngörülen nötrino etkileşimlerinin sayısı ile saptananların tutarsızlığı, "güneş nötrino sorunu" olarak anıldı.

1989'daki çalışmasını geliştiren Masatoşi Koşiba, 1999'da, Japonya'nın büyük Süper-Kamiokande nötrino dedektöründe tutarsızlığın nedenini keşfetti. Nötrinoların, uzayda yol alırken üç farklı tip – elektron nötrino, müon nötrino ve tau nötrino– arasında gidip geldikleri fark edildi. Davis'in deneyi yalnızca elektron nötrinoları saptamıştı. ■



Davis'in nötrino dedektörü, kozmik ışınlardan (başka bir olası nötrino kaynağı) korumak için yeraltına yerleştirildi.



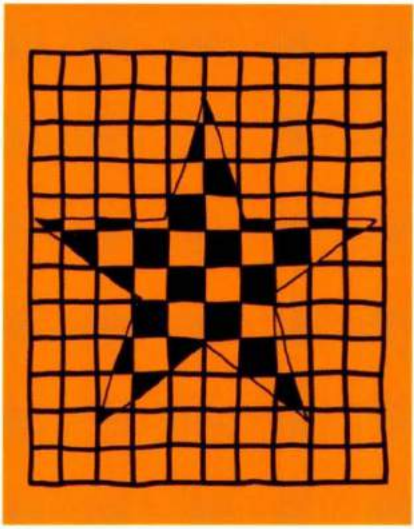
Ray Davis

Raymond Davis 1914'te Washington DC'de doğdu. 1943'te Yale Üniversitesinde fiziksel kimya dalında doktora derecesi aldı. Davis, II. Dünya Savaşının son yıllarını Utah'ta, kimyasal silah denemelerinin sonuçlarını gözlemleyerek geçirdi. 1946'dan itibaren Ohio'da bir laboratuvarda çalışıp, radyoaktif kimyasal elementler üzerine araştırmalar yaptı. 1948'de, Long Island'da nükleer gücün barışçı kullanımını bulmaya adanan Brookhaven Ulusal Laboratuvarına girdi. Melek yaşamının geri kalan kısmını nötrinoları inceleyerek geçirdi. Davis 1984'te Brookhaven'den emekli oldu ama 1990'ların sonunda son verilene kadar Homestake deneyiyle ilgilenmeye devam etti.

Davis karısı Anna ile Brookhaven Laboratuvarında tanıştı ve beş çocukları oldu. 2002'de astrofiziğe öncü katkılarından ötürü Nobel Ödülünü Masatoşi Koşiba'yla paylaştı. 2006'da New York'ta, Blue Point'te 91 yaşında öldü.

Önemli eserleri

1964 *Solar Neutrinos II, Experimental*



GÖREMEDİĞİMİZ BİR YILDIZ

KARA DELİKLERİ KEŞFETMEK

KISACA

ASTRONOMLAR
Louise Webster (1941–1990)
Paul Murdin (1942–)
Tom Bolton (1943–)

ÖNCE
1783 İngiliz din adamı John Michell, ışık bile kaçamayacak kadar güçlü kütleçekim olan bir yıldızın varlığını öne sürer.

1964 Sondaj roketlerinde Geiger sayaçları, kozmik X-ışınları saptar.

1970 İlk X-ışını gözlem uydusu Uhuru fırlatılır.

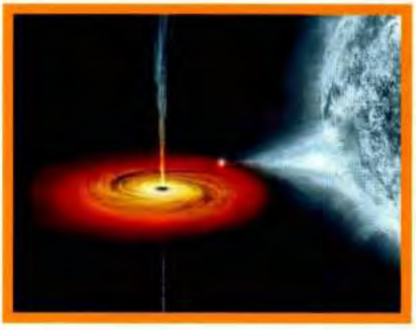
SONRA
1975 Stephen Hawking, teorik fizikçi Kip Thorne'la, Cygnus X-1'in bir kara delik olmadığı konusunda bahse girer.

1990 Hawking bahsi kaybeder ve Thorne'a *Penthouse* dergisi aboneliği satın alır.

2011 Daha ileri gözlemler Cygnus X-1'e, 14,8 Güneş'lik beklenmedik bir kütle (14,8 Güneş kütlesi) verir.

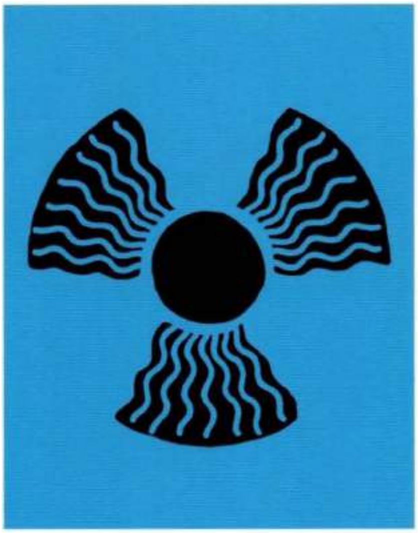
Kara delikler görülmez. Hiçbir maddenin kaçmasına izin vermezler ve olay ufkunda düşük düzeyde Hawking ışınımı hariç, elektromanyetik ışık enerjisini bile yutarlar. Görünmez bir nesneyi saptamanın zorluğundan ötürü, kara delikler 20. yüzyılın ortasına kadar salt teorik kavramlar olarak kaldı. Ne var ki, böylesine yoğun bir kütle yine de gözlemlenebilir etkiler yaratmalıydı. Bir kara deliğin içine çekilen madde, kütleçekim kuvvetlerince parçalandığı için milyonlarca derece ısınır ve bu süreçte uzaya X-ışını boşaltır.

1960'larda astronomlar, bir dizi balon ve roketle fırlatılan dedektörlerle kozmik X-ışını kaynakları aradı. Buldukları yüzlerce kaynağın çoğunun "X-ışını çifti" –nötron yıldızı gibi, süper-yoğun bir yıldız kalıntısının malzemeyi görünür eşinden kopardığı yıldız sistemleri– olduğu varsayıldı. 1964'te keşfedilen bu X-ışını çiftlerin ilki, Cygnus takımyıldızında, Samanyolu'nun aktif yıldız oluşum bölgelerine yakın güçlü bir kaynaktı. 1973'te Avusturyalı Louise Webster, Briton Paul Murdin ve Amerkalı Tom Bolton, birbirlerinden bağımsız olarak, mavi süper-dev yıldız HDE 226868'in ölçülerini aldı. Bir nötron yıldızı olamayacak kadar kütleli bir nesnenin yörüngesinde döndüğünü açığa çıkardılar. Görünmez ortağın, Cygnus X-1, tek adayı bir kara delikti. Kara delikler artık salt teorik kendiliklerden ibaret değildi. ■



Bir sanatçının izlenimi, mavi süper-dev yıldız HDE 226868'den kara delik ortağı Cygnus X-1'e akan maddeyi gösteriyor. Yıldız her 400.000 yılda bir Güneş kütlesi malzeme kaybediyor.

Ayrıca bakınız: Süpernovalar 180-81 ▪ Kozmik ışınım 214-17 ▪ Hawking ışınımı 255



KARA DELİKLER IŞINIM YAYAR

HAWKING IŞINIMI

KISACA

ASTRONOM
Stephen Hawking (1942–)

ÖNCE
1916 Karl Schwarzschild genel göreliliğin alan denklemlerine, kara delik-benzeri bir nesnenin etrafındaki kütleçekim alanını açıklamasına olanak veren bir çözüm sunar.

1963 Yeni Zelandalı matematikçi Roy Kerr, dönen bir tekilliğin özniteliklerini açıklar.

1965 Britanyalı matematikçi Roger Penrose, dev bir yıldızın kütleçekimsel çöküşünün bir tekillikle sonuçlanabildiğini gösterir.

1967 Amerikalı fizikçi John Wheeler, Schwarzschild, Kerr, Penrose ve diğerlerinin tarif ettiği nesne tipleri için "kara delik" terimini uydurur.

SONRA
2004 Stephen Hawking, bir kara deliğe giren her nesnenin Evren için tamamen kaybolduğuna ilişkin bir iddiayı geri çeker.

Matematiksel kara delikler teorisine, 1910'larda Alman fizikçi Karl Schwarzschild öncülük etti. Schwarzschild'in tarif ettiği nesne, tekillik denilen sonsuz yoğunlukta bir noktada yoğunlaşan ve dönmeyen bir kütleydi. Bundan, Schwarzschild yarıçapı olarak bilinen bir mesafede, olay ufku denilen hayali bir küresel yüzey vardı. Bu yüzeyin tekillik tarafındaki kütleçekim o kadar büyüktü ki, hiçbir şey –ışık bile– kaçamazdı. Sonraki on yıllarda kara delik teorisi çeşitli biçimlerde evrime uğradı; ama kara delikler, tamamen kara, ışık yaymayan olarak görülmeye devam edildi.

Edimsiz parçacıklar

1974'te kara delik teorisinde büyük bir değişim gerçekleşti. Britanyalı fizikçi Stephen Hawking, kara deliklerin parçacık yaydığını öne sürdü; bugün bu parçacıklar Hawking ışınımı olarak bilinmektedir. Hawking kara deliklerin, ışık olmasa da bir tür ışınım yaydıkları için tamamen kara olmadığını savundu.

Kuantum teorisinin öngörüsüne göre, uzayda "edimsiz" parçacık ve karşı-parçacık çiftleri sürekli yoktan ortaya çıkar ve sonra ortadan kalkar (tekrar yokluğa döner). Her çiftten birinin pozitif, diğerinin negatif enerjisi vardır.

Bu parçacık-karşı-parçacık çiftlerin bir kısmı, bir kara deliğin olay ufkunun hemen dışında ortaya çıkar. Çiftin bir üyesi kara deliğe düşerken, diğer üyesinin kaçabilmesi olanaklıdır –bir (pozitif) ışınım enerjisinin emisyonu olarak gözlemlenen. Sistemde aynı toplam enerjiyi korumak için, kara deliğe düşen parçacık negatif enerjiye sahip olmalıdır. Bu durum, kara deliğin yavaş yavaş kütle-enerji kaybetmesine neden olur –kara delik buharlaşması denilen bir süreç.

Hawking ışınımı hâlâ teorik bir öngörüdür. Doğru olduğu kanıtlanırsa, kara delikler sonsuza kadar sürmez demektir ve bu durumun, Evren'in kaderi bakımından içerimleri vardır; çünkü kara deliklerin var olan son nesneler arasında olacağı düşünülüyordu. ■

Ayrıca bakınız: Uzayzamanda eğriler 154-55 ▪ Yıldızların yaşam döngüleri 178 ▪ Samanyolu'nun kalbi 297 ▪ Michell (Rehber) 335

TEKNO ZAFERİ

1975–ŞİMDİ

OJİNİN

1977
NASA iki **Voyager uzay aracını** dış gezegenleri gezmeye gönderir.

1979
ABD'li kozmolog **Alan Guth,** erken Evren'in **hızlı bir şişme dönemi** yaşadığı düşüncesini geliştirir.

1980
ABD'li astronom **Vera Rubin,** galaksilerin dönme hızlarının görünmez **"kara madde"**nin varlığına işaret ettiğini gösteren veriler yayımlar.

1986
Amerikalı **Frank Shu** ve çalışma arkadaşları yeni bir **yıldız oluşumu** modeli sunar.

1990
Hubble Uzay Teleskobu yörüngeye girer. **Görünür ve görünüre-yakın** tayfta en iyi görüntüleri sunar.

1995
İlk kahverengi cüceler saptanır; **Shiv S. Kumar'ın** 1962'de yaptığı teorik bir öngörü doğrulanır.

Astronomide pek çok büyük keşif, teknolojide ilerlemelerle olanaklı olmuştur. Yakın zamandaki gelişmeler, uzaydan ışınım toplamak ve çok büyük miktarda veriyi işlemek için güçlü aletler sundu ve keşif sürati, nefes kesici bir oranda artırdı. Son kırk yılda özellikle mikro-elektronik ve bilgisayar kapasitesi yeni olanaklar açtı.

Teleskoplar ve dedektörler

Avrupa Güney Gözlemevi'nin (ESO –European Southern Observatory) 1989'da Şili'de And Dağlarında açtığı Yeni Teknoloji Teleskobu (NTT – New Technology Telescope), daha sonra standart donanım haline gelen devrimci yenilikleri sahip bir teleskop örneğidir. Ana ve ikincil aynaları esnektir ama uygulayıcı denilen bilgisayar-kontrollü bir destek ağıyla tam uygun durumda tutulur. ESO'nun Şili tercihi, astronomların dünyayı arşınlayıp havanın berrak, durgun ve kuru olduğu, gökyüzünün ışık kirliliğine maruz kalmadığı en uygun alanlarda test yapma eğiliminin bir parçasıydı. Büyük bir astronomi merkezi de, 1967'de Büyük Hawaii Adasında Mauna Kea volkanının doruğunda kuruldu. Bu yer şimde 13 teleskopa ev sahipliği yapmaktadır.

1970'lerin başına kadar her astronomik görüntüleme, geleneksel fotoğrafçılık araçlarıyla gerçekleştirilirdi. Sonra 1970'lerin ortasında, bir görüntüyü elektronik olarak kaydetmenin tamamen yeni bir yolu pratik bir gerçeklik haline geldi. Bu, yük-bağlaşık aygıttı (CCD). CCD'ler, üzerine ışık fotonları tutulduğunda elektrik yükü üreten ışığa duyarlı pikselli elektronik devlerdir. Kısık ışığı algılama ve bir nesnenin parlaklığını doğru kaydetme bakımından fotoğraftan çok üstündür ve Neptün'ün ötesindeki Kuiper kuşağının küçük, buzlu dünyaları gibi, daha önce saptanamayacak kadar sönük olan nesneleri görünür hale getirirler.

> Büyük bir birleşik teorinin parçası olan kesin bir kuantum kütleçekim teorisine ihtiyacımız olacak ana kayıp parça budur.
> **Kip Thorne**

İsviçreli astronomlar **Didier Queloz** ve **Michel Mayor,** Güneş'e benzer bir yıldızın yörüngesinde dönen ilk **öte-gezegeni** keşfeder.

1995

NASA'nın **Curiosity** aracı **Mars'a** iner ve yüzeyini araştırmaya başlar.

2012

NASA'nın uzay aracı **New Horizons** 11 yıllık bir yolculuktan sonra, **Plüton'a** en yakın noktaya ulaşıp, buzlu yüzeyinin ayrıntılarını ortaya çıkarır.

2015

1998

Kozmik genişlemenin ivme kazandığı anlaşılır; gizemli bir **"kara enerji"**nin varlığı öne sürülür.

2013

Avrupa Güney Gözlemevi, dev bir radyo teleskobu olan **Atacama Büyük Milimetre Dizisi'**ni Şili'de açar.

2016

Ligo Scientific Collaboration, kütleçekim dalgalarının saptandığını duyurur; Einstein'ın genel görelilik teorisi doğrulanır.

İşlem gücü

Hızlı, güvenilir bilgisayarlar ve muazzam bir veri saklama kapasitesi, yalnızca teleskopların ve aletlerinin yapımı bakımından değil, topladıkları astronomik verilerin anlamlandırılması bakımında da kilit önemde oldu. Tek başına büyük bir proje, Sloan Dijital Gökyüzü Araştırması, 2000 yılında başladığından beri 500 milyon gök nesnesiyle ilgili bilgi topladı. Bu veri tabanı kullanılıp, galaksilerin Evren'e nasıl dağıldığını gösteren, en büyük yapılarını ortaya çıkaran üç boyutlu bir harita yaratıldı.

Bilgisayarlar teorisyenler için de vazgeçilmezdir. Büyük işlem gücü, fizik yasalarına dayanan simülasyonlar yaratarak, Evren'in nasıl çalıştığı konusunda gözlemlerin anlattıklarını anlamayı olanaklı kılar. Örneğin bilgisayarlar, bilim insanlarına Güneş Sisteminin nasıl oluşmuş ve evrime uğramış olabileceğini modelleme olanağı verir.

Uzay araştırması artık Güneş Sisteminin kenarına kadar gitmiştir ve gezegen sisteminin bir düzeyde araştırılmamış hiçbir bölgesi yoktur. New Horizons misyonu 2015'te Plüton'un yanından geçti ve Kuiper kuşağında yol alıyor; 1977'de fırlatılan Voyager uzay aracı, yıldızlararası uzaydan veri gönderiyor. İnternetin gelişiyle birlikte misyonlar gerçek zamanlı izlenebilmektedir; örneğin Hubble Uzay Teleskobundan ya da Mars'taki Curiosity aracından gelen en son görüntülere anında erişilmektedir.

Dönüm noktası keşifler

Son yirmi yılda anlayışımızı etkileyen keşiflerden üçü öne çıkar. 1998'de Evren'in genişlemesinin hızlandığının anlaşılması, temel teoride bir boşluk olduğunu gösterdi. 2016'da kütleçekim dalgalarının saptanmasıysa, Einstein'ın 100 yıl önceki öngörüsünü doğruladı. Bu arada, 1995'te ilk ve o zamandan beri binlerce Güneş Sistemi dışında gezegenin keşfi, uzayda yaşam arayışını canlandırdı. Önümüzdeki 20 yılın nereye götüreceğini tahmin etmek bile olanaksızdır. ■

BÜYÜK BİR DEV GEZEGEN TURU

GÜNEŞ SİSTEMİNİ ARAŞTIRMAK



KISACA

KURUM
NASA – Voyager misyonu (1977–)

ÖNCE
1962 Mariner 2 ilk gezegen yolculuğunda Venüs'ün yanından geçer.

1965 Mariner 4, Mars'ı ziyaret eden ilk araç olur.

1970 Venera 7, Venüs'e ilk yumuşak inişi gerçekleştirir.

1973 Pioneer 10, Jüpiter'e giderken asteroid kuşağını geçen ilk uzay aracı olur.

1976 Viking 1, Mars'ın yüzeyinden resim gönderir.

SONRA
1995 Galileo uzay aracı Jüpiter'in yörüngesine girer.

1997 Sojourner, Mars'a inen ilk araç olur.

2005 Cassini, Titan'ın yüzeyine dokunan Huygens sondasını bırakır.

2015 New Horizons, Plüton'a ve Charon'a ilk yakın uçuşu gerçekleştirir.



Yük olarak Voyager 1 uzay aracını taşıyan bir Titan 3E roketi havalanıyor. Titan 3E, kendi zamanının en güçlü fırlatma aracıydı.

20 Ağustos 1977'de Voyager 2 uzay aracı, Florida'da Cape Canaveral'dan fırlatıldı. İki hafta sonra kardeşi Voyager 1 fırlatıldı. Böylece en iddialı Güneş Sistemi araştırması başladı. Bu, on yıldan fazla süren bir çalışmanın sonucuydu. Ana misyon 12 yıl sürecekti ama yıldızlararası bir misyon devam ediyor.

Gezegenler-arası yolculuk

1960'ların başında hem Sovyet hem de ABD uzay ajansları diğer gezegenlere uzay aracı gönderiyordu. Başarıdan çok başarısızlık yaşandı ama on yıl içinde robot uzay araçları Venüs'ün ve Mars'ın yakın çekim görüntülerini göndermeye başladı. NASA araçları Mariner programının bir parçasıydı, büyük ölçüde California'da Jet Propulsion Laboratory'den (JPL) yönetildi. JPL'deki matematikçiler "yanından uçma" sanatını –bir uzay aracını, bir gezegenin fotoğrafını çekecek ve gözlem yapacak kadar yakınından geçirtecek bir yörüngede gönderme– kusursuzlaştırdı. 1965'te, o yaz JPL'de çalışan yüksek lisans öğrencisi Gary Flandro'ya diğer gezegenlere giden yolları ortaya çıkarma görevi verildi ve 1978'de dış gezegenlerin tümünün Güneş'in aynı tarafında olacağını keşfetti. Yaptığı hesaplamalar, bu olayın 1801'den beri gerçekleşmediğini ve 2153'e kadar da gerçekleşmeyeceğini ortaya çıkardı.

Flandro, Dış Güneş Sistemine büyük bir tur olanağını gördü ama söz konusu uzaklıklar, o günün uzay araçlarının kapasitesini çok aşmaktaydı. 1965'te Mars'ın hizalanması, o sırada Mars'ı 56 milyon kilometreyle Dünya'ya en yakın gezegen yaptı ama Neptün 4 milyar kilometre

Ayrıca bakınız: Diğer gezegenlerde yaşam 228-35 ▪ Bulutsu varsayımı 250-51 ▪ Öte-gezegenler 288-95 ▪ Kuyrukluyıldızları anlamak 306-11 ▪ Plüton'u incelemek 314-17

uzaktaydı ve oraya yapılacak bir yolculuk birkaç yıl alırdı.

Gezegen sapanları

Büyük tur uzay aracı, bütün gezegenlerin yanından geçmek için birkaç kez rota değiştirmek zorundadır. Flandro'nun planı, aracı gezegenden gezegene uçurmak için kütleçekim yardımını kullanmaya mecburdu. Kütleçekim sapanı ya da salıncak olarak da bilinen kütleçekim yardımı, ilk kez 1959'da Ay'ın uzak tarafına geçip fotoğraf çeken Sovyet Luna 3 tarafından kullanılmıştı. Uzay araçlarını Dünya'dan dış gezegenlere kadar götürmek için hiç kullanılmamıştı. Planlanan sapan, uzay aracının gezegene kafa kafaya yaklaşıp, gezegenin yörünge deviniminin karşıt yönünde yol almasını gerektirmekteydi. Uzay aracı gezegenin etrafında halka çizerken gezegenin kütleçekimi aracı hızlandıracaktı.

Gezegenler hakkında bilgi sahibi olmanın en iyi yolu, **robot uzay araçları** göndermektir.

Bütün **dış gezegenler** kısa bir dönem **birbirine yakın** olur.

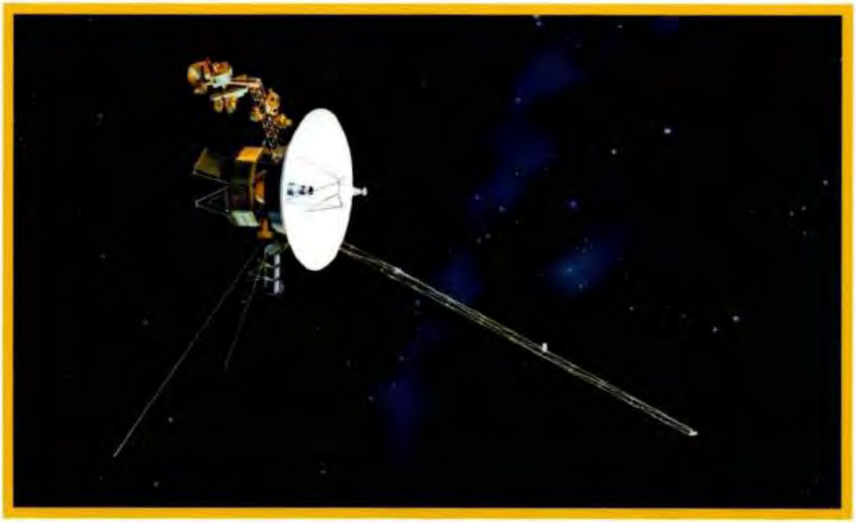
Büyük bir tur, bu dönem boyunca o gezegenleri incelemeye **keşif robotları** gönderebilir.

Voyager programı, dev gezegenlere büyük bir tur düzenler.

Yaklaşık bir tur atıp yönünü uzaya çevirince, tekrar yavaşlayacaktı. Gezegenin devinimi önemsenmeseydi, uzay aracının kaçış hızı, yaklaşma hızına az çok eşit olurdu. Oysa gezegenin devinimi hesaba katıldığında, uzay aracı, gezegenin hızının yaklaşık iki katını kendi hızına ekleyerek gezegenden ayrılacaktı. Sapan uzay aracını yalnızca yeniden yönlendirmekle kalmayacak, bir sonraki hedefine giderken hızlandıracaktı da.

Büyük bir tura çıkmak

1968'de NASA, Dış Gezegenler Çalışma Grubunu kurdu. Grup, bir uzay aracını Jüpiter, Satürn ve Plüton'u ziyaret etmeye ve ikinci bir aracı da Uranüs ve Neptün'e doğru gönderecek Büyük Gezegen Turu misyonunu önerdi. Plan, yeni bir uzun menzilli uzay aracını gerektirmekteydi ve maliyetler sürekli arttı. Sonra 1971'de NASA, Uzay Mekiği programını finanse etmek için ge-



Bir sanatçının izlenimi Voyager 1'i uzayda gösteriyor. Bu uzay aracı ve ikizi Voyager 2, 3,7 metrelik bir çanakla iletilen ve alınan radyo dalgalarıyla Dünya'yla iletişim kurar.

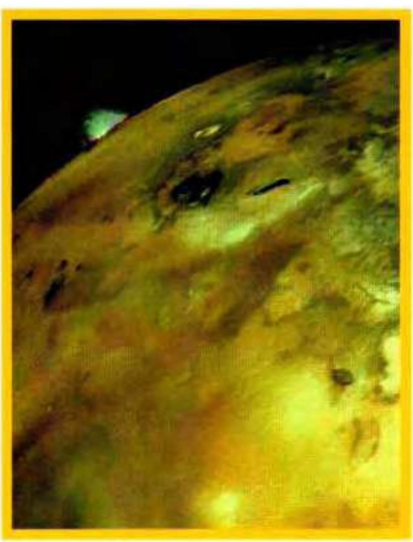
> Her 176 yılda bir gelen bir fırsattı ve biz buna hazırlandık. Bundan, bugüne kadar en büyük gezegen araştırması misyonu çıktı.
>
> **Charles Kohlhase**



Jüpiter'in uydusu Europa'nın Voyager 2 tarafından çekilen fotoğrafı. Kırık olan ve uydunun içinden gelen malzemeyle dolu kalın bir buz örtüsüyle kaplıdır.

rekli kaynağı bulamayınca, büyük turu iptal etti.

Dış gezegenlerin araştırılması, Mariner programına geri verildi. Misyonun adı değiştirilip, Mariner Jüpiter-Satürn ya da kısaca MJS77 yapıldı –77, fırlatma yılına işaret ediyordu. Maliyetleri düşürmek için, Plüton tur programından çıkarıldı. Onun yerine bir uzay aracı Jüpiter'i, Satürn'ü ve sonunda da Satürn'ün büyük uydusu Titanı ziyaret edecekti. Titan, uzak Plüton'dan daha ilginç bulundu. Merkür'den büyüktü ve o sırada Güneş Sistemindeki en büyük uydu olduğu sanılıyordu. Ayrıca kendi atmosferine sahip olduğu bilinen tek uyduydu. Bu değişiklikle birlikte, misyonun bütçesi büyük bir tur olarak değil, iki gaz devin araştırılması olarak hazırlandı. Ne var ki, JST kod adlı uzay aracının bir yedeği olacaktı, JSX. Görevi, JST başarısız olursa, Jüpiter ve Satürn'e gitmeyi kapsayacaktı. X, bilinmeyen bir niceliği temsil etmekteydi. JSX gerekirse Titana gidecekti ama JST görevini başarırsa, JSX Uranüs'e ve Neptün'e gönderilecekti.



Voyager 1, Jüpiter'in uydusu Io'da 150 kilometre yüksek bir patlama yakaladı. Jüpiter'in kütleçekiminden güçlü bir biçimde etkilenen Io, Güneş Sisteminde volkanik olarak en aktif yerdir.

Misyon profili

1974'te misyon tasarım müdürü Charles Kohlhase, MJS77 misyonu için bir ana plan yapmaya başladı. Uzay araçlarının tasarımından, büyüklüğünden ve fırlatma sisteminden yolda karşılaşacakları birçok değişkene kadar –ışınım düzeyleri, ışık koşulları ve görev değiştirme olasılıkları– her şeyi irdelemek zorundaydı. Sonunda bütün ölçütleri karşılayan ve uzay aracını hedeflere olabildiğince yaklaştıracak iki yörüngede karar kılmak, Kohlhase ve ekibinin sekiz ayını aldı.

MJS77'de çalışan hiç kimse adından hoşlanmadı. Fırlatma tarihi yaklaştıkça, yeni bir ad için yarışma düzenlendi. Son listeye Nomad (Göçebe) ve Pilgrim (Hacı) kaldı; ama özdeş iki uzay aracı hazır olduğu sırada, Voyager 1 ve Voyger 2 olarak biliniyorlardı. 720 kilogramla iki Voyager uzay aracı, öncekilerden yaklaşık yüzde 50 daha ağırdı. Bunun yaklaşık 100 kilogramı bilimsel donanımdı ve iki kamera, manyetik alan sensörleri, atmosferde hangi kimyasalların bulunduğunu göstermek için ışık ve diğer ışınımları analiz eden spektrometreler ve kozmik ışın araştırmak için parçacık dedektörlerinden oluşmaktaydı. Ayrıca atmosferlerde ve Satürn halkalarında sondaj yapmak gibi deneyler için radyo sistemi kullanılabiliyordu. Uzay araçlarının yörüngeleri 16 hidrazin iticiyle kontrol edilecekti. Ne var ki, asteroid kuşağının ötesi, güneş panelleri uzay aracına yeterli elektrik üretemeyecek kadar karanlık olacak ve piller de o kadar uzan dayanmayacaktı. Çözüm, hassas donanımdan yalıtmak için bir kolun üzerine yerleştirilen, radyoizotop termoelektrik jeneratör (RTG) biçiminde nükleer güçtü. Her RTG'de dışarıya ısı veren 24 Plüton'yum topu vardı; çıkan ısı, ısılçiftler tarafından elektrik akımına çevrilmek-

teydi. Güç kaynağı, yaklaşık 50 yıl sürecek şekilde yapıldı.

Jüpiter ve uyduları

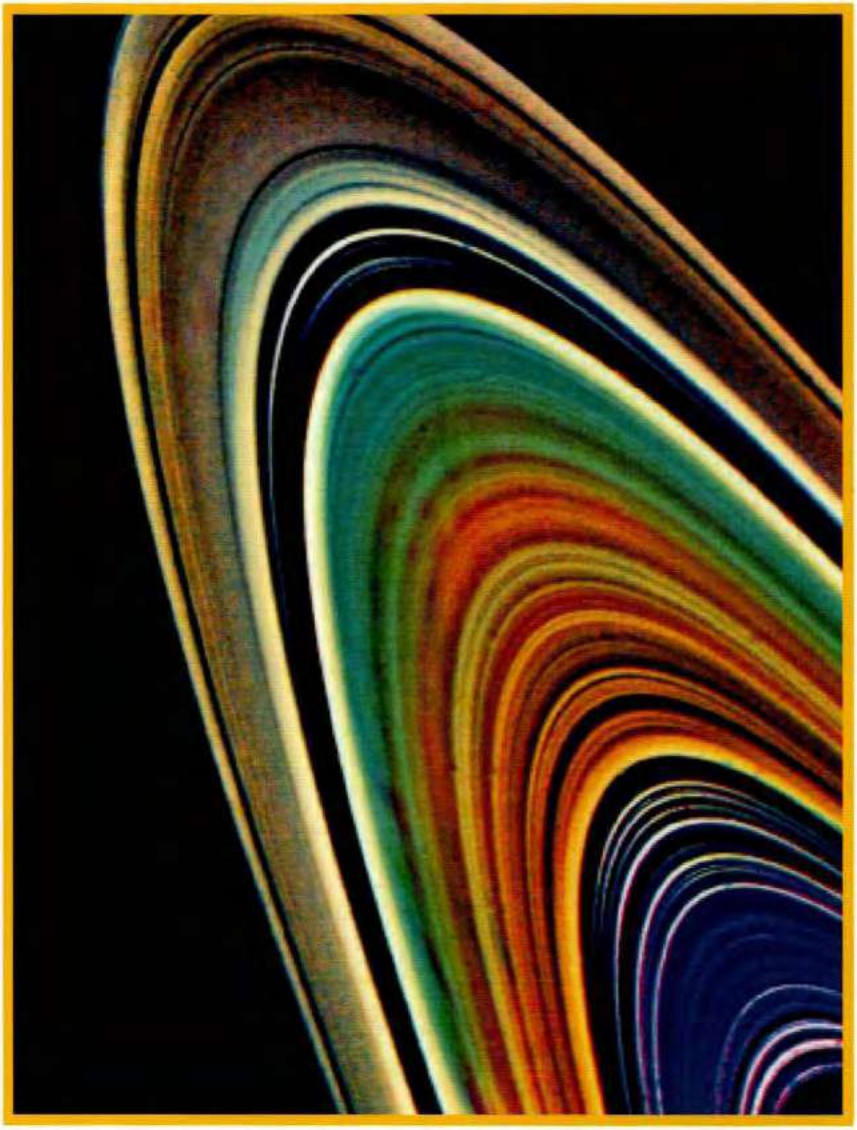
Aralık 1977'de Voyager 1, daha dairesel bir yörünge izleyen Voyager 2'yi sollamıştı. Ocak 1978'de Jüpiter sistemine ulaştı. Voyager 1'in önemli keşiflerinin çoğu, 5 Mart civarında gezegenin bulut örtüsüne 349.000 kilometreye kadar yaklaştığında, 48 saat içinde yapıldı. Voyager 1 görüntü göndermenin yanı sıra, bulutların bileşimini analiz etti ve gezegenin muazzam manyetik alanını ölçtü. Jüpiter'in soluk bir halka sistemi olduğunu da gösterdi. En unutulmaz keşifleri, Galileo uydularının yanından geçerken geldi. Bu uydular seyrek, kraterli top değil, aktif dünyaydı. Io'nun fotoğrafları, yörüngeye kül bulutları püskürten, o zamana kadar görülmüş en büyük volkanik patlamaları gösterdi. Ganymede'nin yeni ölçümleri, büyüklük bakımından Titanı bile geride bıraktığını gösterdi; Europa'nın ürkütücü ölçüde pürüzsüz sarımsı diskinin görüntüleri, astronomları şaşırttı. Voyager 2, Jüpiter'e bir yıldan fazla bir süre sonra geldi ve Voyager 1 kadar Jüpiter'e yaklaşmadı ama Io'nun Jüpiter'i geçerken görüntülerini çekti; görüntüler, Io'nun çatlaklarla dolu su buzundan bir kabukla örtülü olduğunu gösteriyor. Daha sonraki analizler, bu çatlaklara, kabuğun altında sıvı bir okyanusta, Dünya'nın en az iki katı su tuttuğu tahmin edilen ve bilim insanlarınca uzay yaşamının birincil adayı olduğu düşünülen bir okyanusta yukarı doğru akıntıların neden olduğunu ortaya çıkardı.

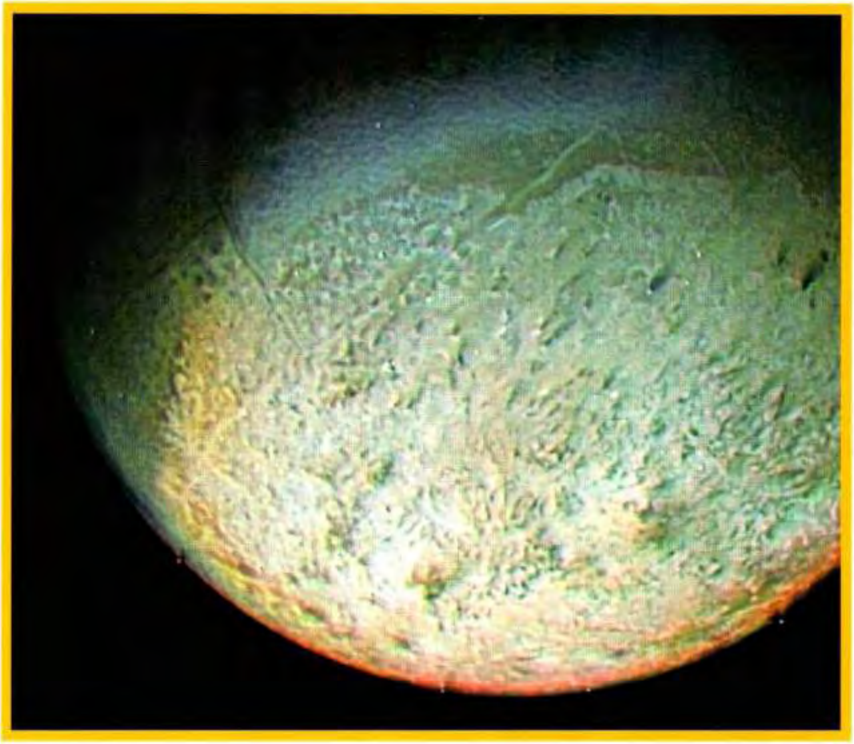
> Sonraki on yılın ikinci yarısı, ilginç çoklu gezegen olanaklarıyla doludur. Dış Güneş Sisteminin bütün gezegenlerinin yakından gözlemlenmesini olanaklı kılacak 1978 "büyük turu" özellikle ilginçtir.
>
> **Gary Flandro**

Titan ve Satürn

12 Kasım 1980'e gelindiğinde Voyager 1, Satürn'ün atmosferinin 124.000 kilometre üstünden geçiyordu. Yaklaşırken ve bazı aletler bozulmasına rağmen, milyarlarca su buzu paçalarından oluşan ve bazı

Voyager 2'nin çektiği Satürn halkaları görüntüleri, hiçbiri 5-9 kilometreden büyük olmayan küçük uydulardan oluşan karmaşık bir yapıyı açığa çıkardı.





Voyager 2, Neptün'ün buz uydusu Triton'un bu görüntüsünü gönderdi. Uzay aracı yanından geçerken yalnızca güney buz örtüsü görünüyordu. Çok yansıtıcı olan örtü, donmuş nitrojen ve metandan oluşuyor.

yerlerde 10 metre kadar ince olan halkaların ayrıntılarını ortaya çıkardı. Kohlhase Voyager 1'i, Satürn atmosferinin ve halkaların neden olduğu hasarın bu hassas evreyi tehlikeye atmasını önlemek için Satürn'e yaklaşmadan önce Titanı ziyaret etmeye göndermişti. Uzay aracı Titanın arkasına geçti; böylece atmosferde parlayan Güneş ışığı, atmosferin kalınlığının ve bileşiminin ölçülmesine olanak verdi. Sonra Titanın yörüngesi, uzay aracını Satürn'ün kutbuna ve Güneş Sisteminin kenarına gönderdi.

Voyager 2 Satürn'e Ağustos 1981'de ulaştı ve gezegenin halkalarını ve atmosferini daha ayrıntılı inceleyebildi ama gezegenin yanından geçiş süresinin çoğunda kamerası bozuktu. Neyse ki, onarıldı ve buz devlerine devam etme emri verildi.

Uranüs ve Neptün

Voyager 2, buz devleti Uranüs ve Neptün'ü ziyaret eden tek uzay aracıdır. Uzay aracının Satürn'den Uranüs'e gitmesi 4,5 yıl sürdü; araç, gezegenin soluk mavi atmosferinin 81.500 kilometre üstünden geçti. Gezegenin ince halkalarına baktı ve 11 yeni uydu keşfetti; uyduların hepsine, Uranüs için kural olduğu üzere, Shakespeare karakterlerinin adları verildi. Görece sakin bu gezegende incelenmesi gereken en tuhaf şey, kabaca 90^0 olan ekseninin eğikliğidir. Sonuç olarak, Uranüs yörüngede yol alırken dönmez, Güneş'in etrafında "yuvarlanır."

Son liman, Ağustos 1989'da ulaşılan Neptün'dü. Bu koyu mavi gezegenin Güneş Sistemindeki en güçlü rüzgârlara, hızı saatte 2400 kilometreye varan –Dünya'da yaşanandan dokuz kat daha güçlü– rüzgârlara sahip olduğu anlaşıldı. Voyager'ın görev kontrolörleri, gezegen görevi sona yaklaşırken ihtiyatı bırakabildiler. Son yörüngesinin güvenliği dikkate alınmayan Voyager 2, Neptün'ün uydusu Triton'un yanından geçmeye yönlendirildi. Büyük buz uydunun görüntüleri, yüzeyden çamur fışkıran gayzerleri gösterdi.

Göreve devam

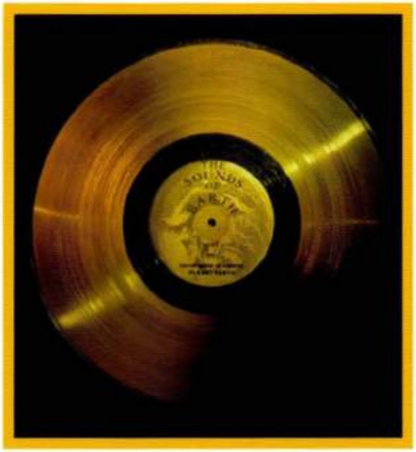
Voyager programı devam ediyor ve

Charles Kohlhase

Charles "Charley" Kohlhase, Tennessee'de Knoxvill'de doğdu ve fizik bölümünden mezun oldu. ABD Donanmasında kısa bir süre askerlik yaptıktan sonra 1960'ta JPL'ye girdi; orada, yaşam boyu süren keşif merakını Mariner ve Viking projelerinde çalışmaya dönüştürdü ve ardından Voyager ekibine katıldı. 1997'de Kohlhase Voyager'ı bırakıp, Satürn'e gidip 2005'te Titanın yüzeyine iniş aracı bırakmayı başaran Cassini-Huygens uzay aracını tasarladı. 1970'lerin sonunda, halkı NASA'nın çalışmaları konusunda bilgilendirmek için bilgisayar sanatçılarıyla birlikte çalışıp, uzaya görev uçuşlarının doğru animasyonlarını yarattı. Artık emekli olan Kohlhase, gezegenler-arası kaşiflere ve bir sonraki roket bilimcileri kuşağına eğitim ve ilham vermek amacıyla, sanat ile uzay bilimini harmanlayan projelerle uğraşmaktadır.

Önemli eserleri

1989 *The Voyager Neptune travel guide*



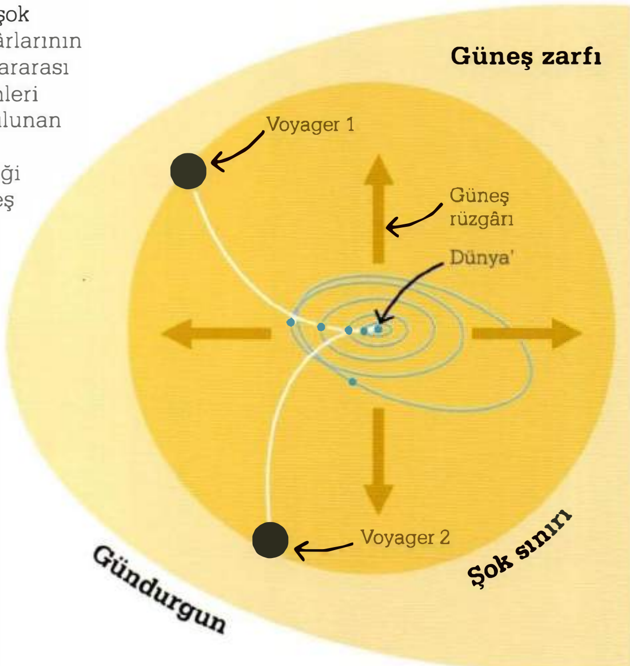
Voyager uzay aracının taşıdığı altın plaklarda bir müzik seçkisi, 55 farklı dilde selamlama ve insan, hayvan ve bitki görüntüleri vardı.

iki uzay aracı hâlâ NASA'yla temas halindedir. 2016 itibariyle Voyager 1,20 milyar kilometre ve Voyager 2, 16 milyar kilometre uzaktadır. Yılda altı kez, uzay araçları etraflarındaki kozmik ışınları ölçmek için kendi etrafında döner. Bu ölçümler, uzay araçlarının Güneş'in etkilediği uzay alanından, heliosferin kenarından geçtiklerini gösterir. Çok geçmeden yıldızlararası uzaya girip, eski yıldız patlamalarından kaynaklanan kozmik rüzgarı ölçecekler.

2025'te iki uzay aracının güç kaynağı tükenecek ve ebediyen sessizliğe gömülecekler ama görevleri tamamlanmamış olabilir. Carl Sagan başkanlığında bir komite, altın kaplama bir plağın (analog yivlerinin okunması, dijital bir formatın okunmasından daha kolaydır) içeriğini seçti. İçinde dünyadan selamlar, Dünya'nın sesleri ve görüntüleri, hatta insan beyni dalgaları vardı. Plak, insanoğlundan uzaylı bir uygarlığa gönderilen bir kartvizittir. Voyager'lar herhangi bir yıldız sistemine gitmiyor; Voyager 1, 40.000 yıl yol alıp bir yıldızın 1,6 ışık yılı uzağından geçince, en yakın noktaya varacaktır. Çok büyük olasılıkla, akıllı bir yaşam tarafından bulunmayacaklar ama altın plaklar, iki gezegenler-arası uzay aracı yolculuğa çıkarılırken taşınan umudun simgeleridir. ■

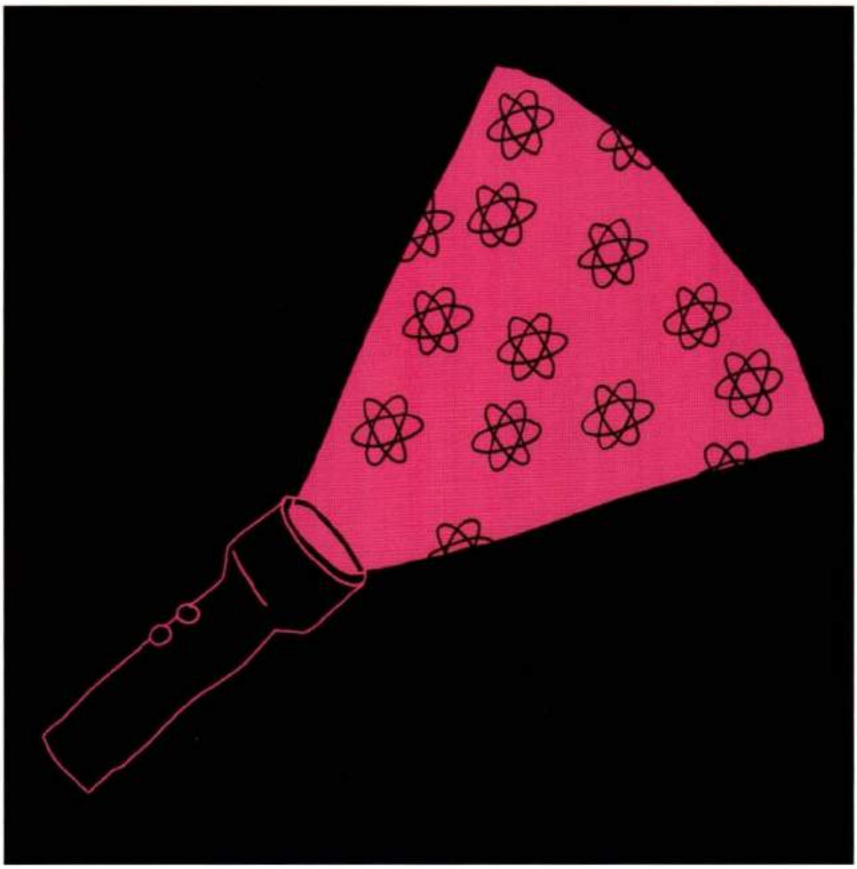
> Uzay aracı, yıldızlararası uzayda uzay yolculuğu yapan ileri uygarlıklar varsa karşılaşılacak ve plak çalacak. Ama bu "şişenin" kozmik "okyanusa" fırlatılması, bu gezegendeki yaşam hakkında çok umutlu bir şey söylemektedir.
>
> **Carl Sagan**

2005'te Voyager'lar şok sınırına, Güneş rüzgârlarının yavaşladığı ve yıldızlararası ortamla (yıldız sistemleri arasındaki uzayda bulunan madde) karışınca türbülanslı hale geldiği yere yaklaşmış, Güneş zarfı (heliosheath) bölgesine giriyordu. 2016'da, yıldızlararası ortamın güneş rüzgârlarını durdurduğu gündurgun (heliopause) bölgeye yaklaşıyorlardı.



EVREN'İN ÇOK BÜYÜK BÖLÜMÜ KAYIPTIR

KARA MADDE



KISACA

ASTRONOM
Vera Rubin (1928–)

ÖNCE
1925 Bertil Lindblad, Samanyolu'nun olası şeklini hesaplar.

1932 Jan Oort, Samanyolu galaksisinin dönüş hızının varsayılan kütleye denk olmadığını fark eder.

1933 Fritz Zwicky, Evren'in çoğunluğunun görünmez, kara maddeden oluştuğunu öne sürer.

SONRA
1999 Kara enerjinin Evren'in genişlemesini hızlandırdığı keşfedilir.

2016 LIGO deneyi, kara maddenin Evren'deki dağılımının haritasını çıkarmak için yeni bir yöntem sunan kütleçekim dalgalarını saptar.

Isaac Newton'un Evrensel kütleçekim yasası, yapay bir uyduyu yörüngeye fırlatma, bir mürettebatı Ay'a indirme ve bir uzay aracını büyük bir gezegen turuna gönderme hesapları yapmaya uygundur. Newton'un net matematiği, Güneş Sisteminde pek çok şey için yeterince işe yarar ama Evren ölçeğinde yaramaz; orada Einstein'ın göreceli kütleçekim teorisine (s. 146-53) ihtiyaç vardır. Yine de, astronominin en büyük –ve henüz çözülmemiş– sırlarından birini –kara madde– açığa çıkarmak için, Newton'un kütleçekim yasasına ihtiyaç vardı. 1980'de Amerikalı astronom Vera Rubin, kara maddenin var olduğuna ilişkin net kanıtlar sundu.

Ayrıca bakınız: Kütleçekim yasası 66-73 ▪ Kütleçekim tedirginlikleri 92-93 ▪ Samanyolu'nun şekli 164-65 ▪ Süpernovalar 180-81 ▪ Oort bulutu 206 ▪ Kara enerji 298-303

> Bizler, Evren'i incelediğimizi düşünerek astronom olduk ve şimdi, yalnızca aydınlık olan yüzde 5'ini incelediğimizi öğreniyoruz.
>
> **Vera Rubin**

Rubin sayesinde halk, Evren'in çok büyük bölümünün kayıp göründüğünü öğrendi.

1960'lar ve 1970'ler boyunca astronomi bilimine büyük ölçekli projeler egemendi; araştırmacılar, kara delik, pulsar ya da kuasar gibi egzotik nesneleri aramak için, çoğu kez dünyanın uzak bölgelerinde büyük aletler kullanıyorlardı. Rubin ise, aksine, Washington'daki evinde kalıp dört çocuğunu büyütmesine olanak verecek bir araştırma alanı arıyordu. Galaksilerin dönüşünü incelemeyi, özellikle galaksilerin dış bölgelerinin aykırı davranışına bakmayı tercih etti.

Dönen sarmallar

Rubin'in ele aldığı sorun, yakın galaksilerdeki büyük yıldız disklerinin Newton'un kütleçekim yasasıyla tutarlı bir biçimde dönmemeleri olgusuydu: Dış bölgeleri çok hızlı dönüyordu. Bu tuhaflık yeni değildi ama daha önce büyük ölçüde önemsenmemişti.

Bertil Lindblad ve diğerlerinin Samanyolu'nun –dolayısıyla diğer birçok galaksinin– merkezi bir nokta etrafında dönen yıldız diskleri olduğunu gösterdiği 1920'lerden beri, galaksilerin, diğer birçok sistem gibi, yörüngeli sistemler olduğu varsayılmaktaydı. Güneş Sisteminde, yakın nesneler yörüngede uzak nesnelerden daha hızlı döner; bu yüzden Merkür, Neptün'den çok daha hızlı hareket ediyor. Bunun nedeni, Newton'dan sonra, kütleçekimin uzaklığın karesi oranında azalmasıdır. Gezegenlerin hızları Güneş'ten uzaklıklarına göre grafiği çizildiğin-



Vera Rubin



ABD'de Philadelphia'da doğan Vera Cooper ilk diplomasını New York dışındaki Vassar College'den aldı ve Princeton'a gitmek için başvuruda bulundu. 1975'e kadar üniversitenin lisansüstü astronomi programlarına kadınlar alınmadığı için, başvurusu dikkate alınmadı. Onun yerine Rubin çalışmalarını Cornell Üniversitesinde yürüttü; orada Richard Feynman ve Hans Bethe gibi önemli isimlerden ders aldı. Sonra Washington'da Georgetown Üniversitesinde George Gamow'un gözetiminde doktorasını yaptı. 1954'te yayınlanan tezi, galaksilerin kümeleneceği sonucuna vardı –1970'lerin sonunda John Huchra'nın çalışmalarına kadar tam olarak araştırılmayan bir olgu. Maryland'de bir kolejde öğretmenlik yaptıktan sonra Rubin, Georgetown'a geri döndü ve daha sonra, 1965'te Washington Carnegie Enstitüsüne geçti. Galaksilerin dönüşü üzerine çalışmalarını orada yürüttü ve hâlâ oradadır.

Önemli eserleri

1997 *Bright Galaxies, Dark Matters*

de, veriler aşağıya doğru düzgün bir "dönme eğrisi" oluşturur. Dolayısıyla, galaksi merkezine farklı uzaklıklarda bulunan yıldızların yörünge hızlarının grafiği benzer bir eğri üretmeliydi.

1932'de Hollandalı astronom Jan Oort, galaksinin, burgaçlı bir yıldız sarmalından oluşan tek bir yörünge sistemi olduğuna, güneşin yörünge dönüşünü 225 milyon yılda tamamladığına ilişkin gözlemsel kanıtlar sunan ilk kişi oldu. Ne var ki, Oort hesaplarını yaparken şunu fark etti: Galaksinin devinimi, galaksinin kütlesinin, görünür yıldızların toplam kütlesinin iki katı olduğunu göstermekteydi. Gizli bir kütle kaynağı olması gerektiği sonucuna vardı. Bir yıl sonra, İsviçre kökenli Amerikalı Fritz Zwicky, Coma kümesindeki galaksilerin göreli devinimini inceliyordu. O da, galaksi deviniminin, görülebilen kütlenin oradaki tek malzeme olmadığını gösterdiğini fark etti. Kayıp malzemeye *dunkle Materie* yani "kara madde" adını verdi.

Oort'un ilk ölçümleri doğru değildi; Zwicky'nin ilk değerlendirmesi ise şuydu: "Kara madde," görünen malzemeden 400 kat daha boldu – büyük bir abartı. Yani bulguları, ölçüm hataları olarak önemsenmedi. 1939'da Amerikalı Horace Babcock da, Andromeda'nın dönüşünde aykırılıklar gördü ve galaksi çekirdeğinde, kayıp maddeden çıkan ışığın soğurulduğu bir mekanizma bulunduğunu öne sürdü.

Galaksi dönüş eğrisi

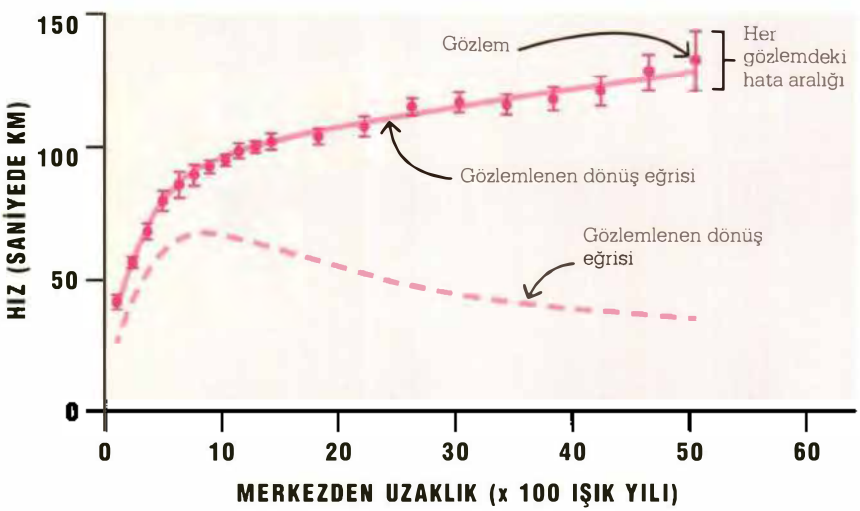
20 yıldan fazla bir süre sonra Rubin, galaksi dönüşü sorununa geri döndü. Babcock gibi o da, Samanyolu'nun en yakın komşusu Andromeda galaksisinin dönüşüne odaklanmayı tercih etti. Washington Carnegie Enstitüsünde meslektaşı Kent Ford'la birlikte çalışıp, galaksinin dış bölgesindeki nesnelerin hızlarını ölçtü. Nesnelerin kızıla kaymasını ve maviye kaymasını saptamalarına, Dünya'dan uzaklaşma ve yaklaşma göreli hızlarını hesaplamalarına olanak veren hassas bir spektrograf kullanarak bunu yaptılar.

Birkaç yıllık yavaş ama dikkatli çalışmadan sonra Rubin, galaksi için bir dönüş eğrisi çizmeye yetecek kadar veri elde etti. Galaksi eğrisinin hız verileri, Güneş Sisteminin eğrisi gibi aşağı doğru inmek yerine, uzaklıkla görece aynı hizada kaldı. Yani, Andromeda'nın dış bölgeleri merkeze yakın alanlarla aynı hızda hareket ediyordu. Galaksinin kütlesi, teleskop kullanılarak gözlemlenebilenle sınırlı olsaydı, Andromeda'nın dış bölgeleri kaçış hızından daha hızlı hareket eder ve kopup uzaya savrulurdu. Ne var ki, galaksinin toplam kütlesi tarafından yerinde tutuluyorlardı. Rubin, dış bölgeleri yörüngede tutmak için gerekli toplam galaksi kütlesinin, görünen kütleden yaklaşık yedi kat daha fazla olduğunu hesapladı. Bugün maddenin kara maddeye oranının 1:6 civarında olduğu düşünülüyor.

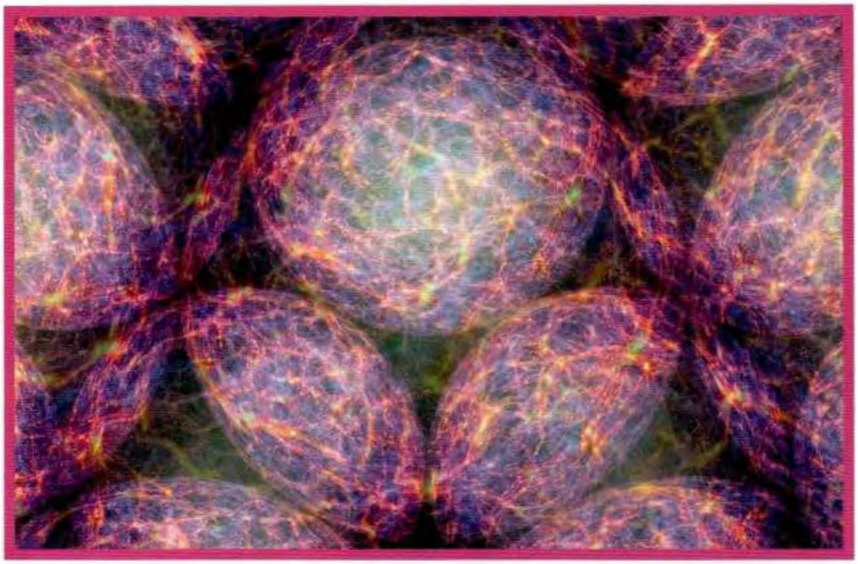
> Hiçbir gözlem sorunu, daha fazla veriyle çözülmez.
> **Vera Rubin**

Kara madde nedir?

Rubin'in galaksi dönüş eğrisi, kara maddenin var olduğunun görsel kanıtıydı. Daha fazla kanıt birikirken, ne olabileceğine ilişkin sır yerinde durdu. Kara madde doğrudan gözlemlenemez; yalnızca etkileri saptanabilir ve saptanabilen etkiler de, kütleçekimden kaynaklanır. Elektromanyetik kuvvetle etkileşmez; yani ısı, ışık ya da başka bir ışınım soğurmaz ve yaymaz. Kara madde tamamen görünmez olabilir.



Kara madde olmasa galaksilerin dış bölgelerindeki nesnelerin hızı, gözlemlenen değerlerden daha yavaş olurdu. Burada, gözlemlenen dönüş eğrisi, yalnızca görünür maddeden beklenen eğriyle karşılaştırılıyor.



Kara madde, Evren'in, kabarcık-benzeri bir çoklu-evrende, ayrı uzaysal boyutlarda birbirinin yanında var olan birçok Evren'den biri olduğunun kanıtı olabilir.

Olası kaynaklar

Kara madde sorununun en basit çözümü, en yalın çözümdür. Gözlemlenemeyecek kadar kara maddeden oluşan ultra-yoğun cisimler içerir. Astronomlar bunlara MACHO (Massive Compact Halo Object –Kütleli Kompakt Hale Nesne) dedi. MACHO'lar, kara delik, nötron yıldızı, beyaz ve kahverengi cüce gibi nesneleri kapsar. Galaksi halesini, bir galaksinin parlayan ana diskinin etrafına saran karanlık ve dağınık bir bölgeyi işgal ederler –görülmelerinin zor olmasının nedeni budur. MACHO'lar oradadır ama şimdiki hesaplara göre, kara maddenin yalnızca küçük bir bölümünü oluştururlar. Alternatif bir düşünce de, WIMP'tir (Weakly Interacting Massive Particle –Zayıf Etkileşen Kütleli Parçacık). Bu kavram, büyük ölçüde, parçacık fiziğinde süper-simetri denilen bir düşünceye dayanır. Yeni bir enerji ve olağan madde açıklaması önerir. Enerji ve madde, iki ayrı atomaltı parçacık grubunu oluşturur ve süper-simetri, bu grupların, "süper-parçacıkların" ya da s-parçacıkların eylemleri sayesinde etkileştiklerini öne sürer. Kara madde WIMP'ler, Evren'in erken döneminde eşlerinden kaçan s-parçacıklar ya da hep orada olan nesneler olabilir.

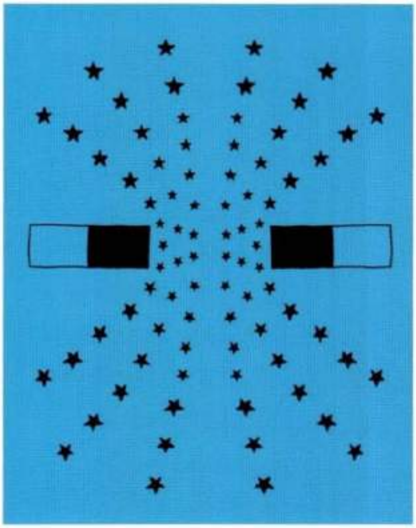
Son olarak kara madde, bu Evren'den farklı bir uzaysal boyutta var olan başka bir ya da belki birçok Evren'in gözlemlenebilir etkisi olabilir. Maddeleri çok yakın, birkaç santimetre ötede olabilir ama her bir Evren'den yayılan ışınım kendi uzayzamanına hapsolduğu için, bir Evren başka bir Evren'i asla göremez. Bununla birlikte, gizli Evren'lerdeki maddenin kütleçekim etkileri, uzayzaman eğrilmesiyle bu Evren'e sızar.

Kara maddeyi açıklamak, astronomide en büyük ödüllerden biri olarak duruyor. Bununla birlikte, 1999'da, belki daha da şaşırtıcı bir fenomen ortaya çıktı. Evren'in yüzde 68'inin ne madde ne de kara maddeden oluştuğu daha ziyade, kara enerji olduğu keşfedildi. Kara madde yüzde 27'dir; görünür madde ise yalnızca yüzde 5'tir. ■



Uzun zaman önce, iki kütleli galaksi kümesinin çarpışmasıyla oluşan büyük bir kara madde halkası, bu Hubble Uzay Teleskobu görüntüsünün etrafında açık mavi renkte görülüyor.

> Şimdilik bunlara DUNNOS (Bir Yerlerde Yansıtıcı Olmayan Saptanamayan Bilinmeyen Karanlık Nesneler) da diyebiliriz.
>
> **Bill Bryson**



NEGATİF BASINÇLAR İTİCİ KÜTLEÇEKİM ÜRETİR

KOZMİK ŞİŞME

KISACA

ASTRONOM
Alan Guth (1947–)

ÖNCE
1927 Georges Lemaître, Evren'in tek bir ilkel atomdan doğduğunu öne sürer. Buna daha sonra Büyük Patlama teorisi adı verilir.

1947 George Gamow ve Ralph Alpher, erken Evren'de hidrojen ve helyum elementlerinin nasıl oluştuğunu açıklar.

1964 Kozmik mikrodalga ardalanı ışımasının, Büyük Patlamanın bir kalıntısı olduğu keşfedilir.

SONRA
1999 Kara enerjinin, Evren'in genişlemesini hızlandırmakta olduğu anlaşılır.

2014 BICEP2, şişmenin kanıtını bulma iddialarını geri çeker.

2016 LIGO kütleçekim dalgalarını saptar, uzayzamanın yapısını gözlemlemenin yeni bir yolunu sunar.

1970'lerde kozmologlar, Büyük Patlama teorisinin ortaya attığı çeşitli bilmecelerle boğuşuyorlardı. Bunları çözmeye çalışan Alan Guth, erken Evren'de, kuantum teorisinin öngördüğü etkilerin neden olduğu hızlı bir şişme evresi öne sürdü.

Bilmeceler

Büyük Patlama teorisinin sorunlarından biri, Evren'in kuvvetlerinin Büyük Patlamadan sonra bir anda nasıl ortaya çıktığını açıklayan Büyük Birleşik Teoriden (BBT) kaynaklanmaktaydı. BBT, o sırada yüksek sıcaklığın, manyetik monopol (tek manyetik kutuplu parçacıklar) gibi tuhaf özellikler yaratacağını öngörmekteydi. Ne var ki, hiçbir şey bulunamadı; bu da Evren'in beklenenden daha hızlı soğuduğunu gösterir.

İkinci sorun uzayın şaşırtıcı ölçüde "düz" olmasından, yani "normal" Öklit geometrisine uygun genişlemesinden kaynaklanmaktaydı (*bkz.* karşı sayfadaki şekil). Ancak erken Evren'in yoğunluğu belli bir hassas rakama denkse, düz bir Evren doğardı. Şu ya da bu yönde hafif bir değişiklik, eğri Evren'lerle sonuçlanırdı.

Son konu, ufuk sorunuydu. Gözlemlenebilir Evren'in kenarından gelen ışık, Evren'in yaşı boyunca yol alıp Dünya'ya ulaşmıştır. Işığın hızı sabit olduğu için, bilim insanları, Evren'in karşı kenarına ışık saçacak zamanı bulamadığını biliyorlar. Bu

Büyük Patlama teorisi, şimdiki Evren'de **görülmeyen özellikleri öngörüyor.**

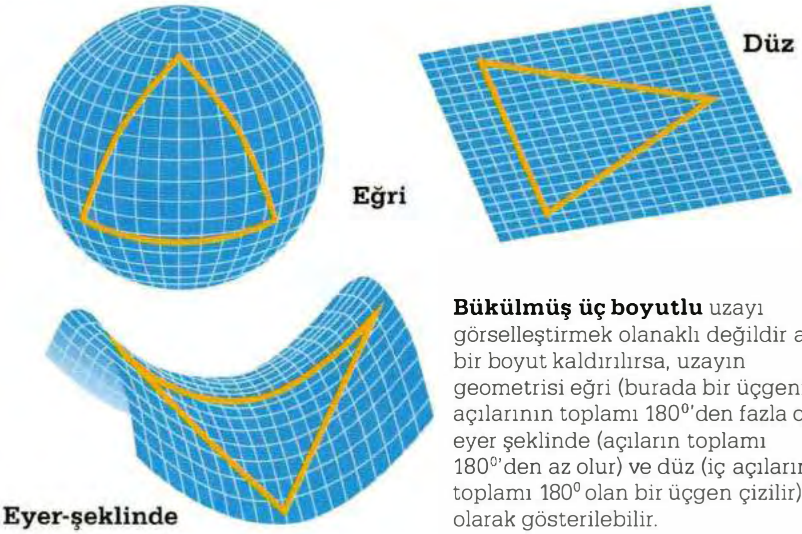
→

Büyük Patlamadan sonra Evren'in **ilk evresi, şişme** denilen hızlı bir genişleme dönemi olmuş olabilir.

→

Şişme, Evren'in birçok özelliğini açıklar ama doğru olduğunun bir kanıtı yoktur.

Ayrıca bakınız: Evren'in doğuşu 168-71 ▪ İlkel atom 196-97 ▪ Büyük Patlama arayışı 222-27 ▪ Kütleçekim dalgaları 328-31



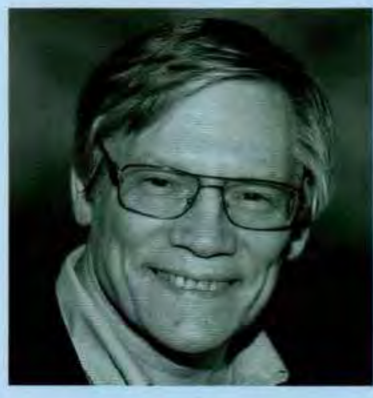
Bükülmüş üç boyutlu uzayı görselleştirmek olanaklı değildir ama bir boyut kaldırılırsa, uzayın geometrisi eğri (burada bir üçgenin iç açılarının toplamı 180°'den fazla olur), eyer şeklinde (açıların toplamı 180°'den az olur) ve düz (iç açıların toplamı 180° olan bir üçgen çizilir) olarak gösterilebilir.

yüzden, hiçbir ışık, enerji ya da madde Evren'in kenarları arasından geçmediyse, geride uzayın neden her yönde bu kadar benzer göründüğü bilmecesi kalır.

Çözüm

Guth'un bu sorunlara teorik çözümü, Evren genişlerken yaratılan pozitif madde enerjisinin kütleçekiminde (bir negatif enerji biçimi) bir artışla eşit ölçüde dengelendiği, sahte boşluk denilen bir kuantum etkisi kullanarak erken Evren'i şişirmekti. Büyük Patlamadan sonra ilk 10-35 saniyede uzayın büyüklüğü 100 kez ikiye katlanıp, atomaltı bir parçacığın büyüklüğünün milyarda birinden bir mermerin büyüklüğüne geçti. Yani en başında kenarlar karışıp tek biçimli olacak kadar yakındı; ufuk sorunu böyle çözüldü. Şişme sırasında uzay, ışık hızından daha hızlı genişledi. (Işık hızı, yalnızca uzayda bir hız sınırıdır.) Şişme, Evren'i hızla soğuttu, böylece BBT sorunu çözüldü ve bugün görünen tek biçimliliğe kilitlendi. Son olarak Evren'in yoğunluğu düz bir Evren için gerekli bir değerde eşitlenince şişme sona erdi. 2014'te BICEP2, Güney Kutbunda bir deney, uzayda kozmik şişmeyle tutarlı dalgacıklar rapor etti. Ne var ki, iddia kısa süre içinde geri çekildi. Kozmik şişme henüz kanıtlanmamıştır ama en iyi güncel Büyük Patlama teorisidir. ■

> Kozmolojideki son gelişmeler, Evren'in hiçbir çaba gerektirmeden oluşmuş olabileceğini söylüyor.
> **Alan Guth**

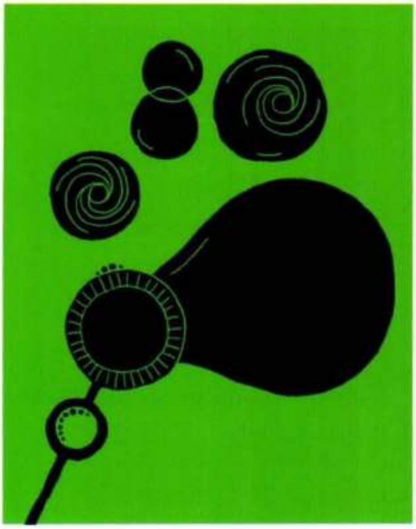


Alan Guth

New Jersey'de doğan Alan Guth 1972'de doktorasını yaptı ve parçacık fiziğinde uzmanlaştı, kuark (temel parçacık) araştırmaları yürüttü. 1970'lerin sonuna gelindiğinde, uzun süreli bir akademik görev ararken MIT'de, Princeton'da, Columbia'da, Cornell'de ve Stanford'da çalışmıştı. Guth, Columbia'dayken, 1974'te önerilen Büyük Birleşik Teoriyle (BBT) ilgilendi. 1978'de Cornell'deyken, Evren'in düzlüğü sorununu ve BBT ile bağlantılı sorunları işittikten sonra, kendi şişme teorisini geliştirmeye başladı. Stanford'dayken ufuk sorunuyla karşılaştı ve 1981'de ünlü teorisini yayımladı. Şimdi MIT'de profesördür, kozmik şişme kanıtlarının aranmasına yardım ediyor.

Önemli eserleri

1997 *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*
2002 *Inflation and the New Era of High-Precision Cosmology*



GALAKSİLER KABARCIĞA BENZER YAPILAR ÜZERİNDE GİBİ GÖRÜNÜYORLAR

KIZILA KAYMA ARAŞTIRMALARI

KISACA

ASTRONOMLAR
Margaret Geller (1947–)
John Huchra (1948–2010)

ÖNCE
1842 Christian Doppler, göreli devinim nedeniyle dalga boylarının nasıl değişebildiğini açıklar.

1912 Vesto Slipher, galaksilerin Doppler etkisiyle kızıla kaydığını keşfeder.

1929 Edwin Hubble kızıla kaymayı kullanarak, uzak galaksilerin yakın olanlardan daha hızlı uzaklaştıklarını gösterir.

1980 Alan Guth, kozmik şişme denilen hızlı bir genişlemenin Evren'i şekillendirdiğini öne sürer.

SONRA
1998 Sloan Dijital Gökyüzü Araştırması, çoğu yüzlerce ışık yılı uzunluğunda ipliksi yapılar, galaksi yapraklar ve duvarlar bulgular.

1999 Bir süpernovaya ilişkin kızıla kayma araştırması, Evren'in genişlemesinin hızlandığını ortaya çıkarır.

1920'lerden itibaren uzak galaksilerin kızıla kaymasının incelenmesi, uzayın ölçeğini ve Evren'in her yönde nasıl genişlemekte olduğunu ortaya çıkardı. Bir ışık kaynağı gözlemciden uzaklaşınca kızıla kayma gerçekleşir (s. 159). 1980'lerde, Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezinde (CfA) çalışan Amerikalı astronomlar Margaret Geller ve John Huchra'nın yaptığı kızıla kayma araştırmaları, Evren'in daha net bir resmini verip, galaksilerin uzayın büyük boşlukları etrafında kümelendiklerini gösterdi. Geller ve Huchra'nın çalışmaları, çok erken Evren'in doğasına ilişkin değerli ipuçları verdi.

Kızıla kayma araştırması geniş açılı bir teleskop kullanıp, genellikle milyonlarca ışık yılı uzaktaki galaksileri hedef seçer. Astronomlar her galaksiden gelen ışığı, ölçüt dalga boylarıyla karşılaştırıp, kızıla kaymayı ve dolayısıyla ışığın katettiği mesafeyi belirler; böylece birçok galaksinin konumunu haritalandırma olanağı bulur. Huchra ilk kızıla kayma araştırmasına 1977'de başladı ve araştırma 1982'de tamamlandığında, 2200 galaksinin haritasını çıkarmıştı.

Margaret Geller



Margaret Geller 1975'te Princeton tarafından bir doktorayla ödüllendirildi ve çeşitli görevler üstlendikten sonra, 1983'te Harvard-Smithsonian Astrofizik Merkezine girdi. Orada John Huchra ile birlikte çalışıp, kızıla kayma araştırmasının sonuçlarını analiz etti. Ardından Geller ikinci kızıla kayma araştırmasını (CfA2) yönetti. Halka açık konuşmalar yaptı ve Evren'le ilgili birçok film çekti; izleyenleri, gözlemlenen Evren'in büyük ölçekli nesneleri etrafında grafik bir yolculuğa çıkaran *Where the Galaxies Are* filmi bunlardan biridir.

Ayrıca bakınız: Sarmal galaksiler 156-61 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172-77 ▪ Kozmik şişme 272-73 ▪ Gökyüzünün dijital bir görünümü 296

Galaksiler, büyük boşlukların etrafında dar uzay bantlarını dolduran **kümeleri** ve **süper-kümeleri** oluşturur.

↓

Bu boşluklar hep **madde içermiş** olamayacak kadar **geniştir.**

↓

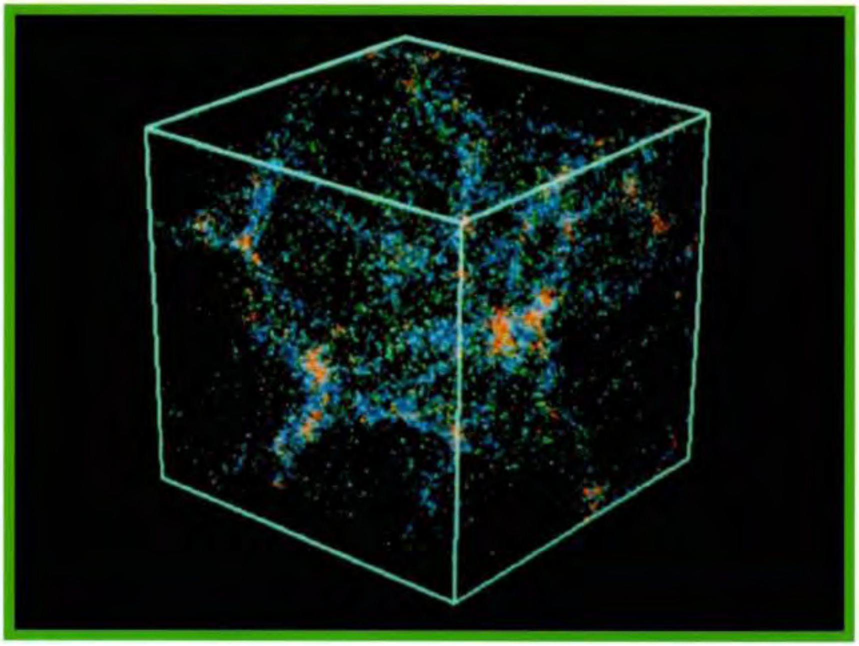
Çok erken Evren'de var olmuş olmalılar.

Huchra araştırmasına başlamadan önce, galaksilerin kümeler halinde var olduğu biliniyordu. Örneğin Samanyolu, yaklaşık 10 milyon ışık yılı genişliğinde, Yerel Grup denilen bir kümede yer alan en az 54 galaksiden biridir. Kümelerin düzgün yayıldıkları varsayılıyordu. Ne var ki, 1980'de Huchra kızıla kayma araştırmasıyla, düzinelerce kümenin yüzlerce milyon ışık yılı genişliğinde süper-kümeler oluşturduklarını göstermişti. Yerel Grup, 100.000 galaksi içeren Laniakea Süper-kümesinin parçasıdır.

Galaksi duvarları

1985'te Geller CfA2 Kızıla Kayma Araştırmasına başladı; 15.000 galaksinin haritasının çıkarılması 10 yıl sürdü. Araştırması, süper-kümelerin bir kabarcığın örtü tabakası gibi geniş boşlukların etrafını saran duvarlar ve yapraklar şeklinde düzenlendiğini doğruladı. Galaktik süper-kümelerin ilk "büyük duvar"ını 1989'da buldu. CfA2 Büyük Duvarı'nın tam büyüklüğü henüz kesin değil ama 700 milyon ışık yılı uzunluğunda, 250 milyon ışık yılı genişliğinde ve 16 milyon ışık yılı kalınlığında olduğu tahmin edilmektedir. Bu, şimdi bilinen süper-boyutlu yapıların ilkiydi.

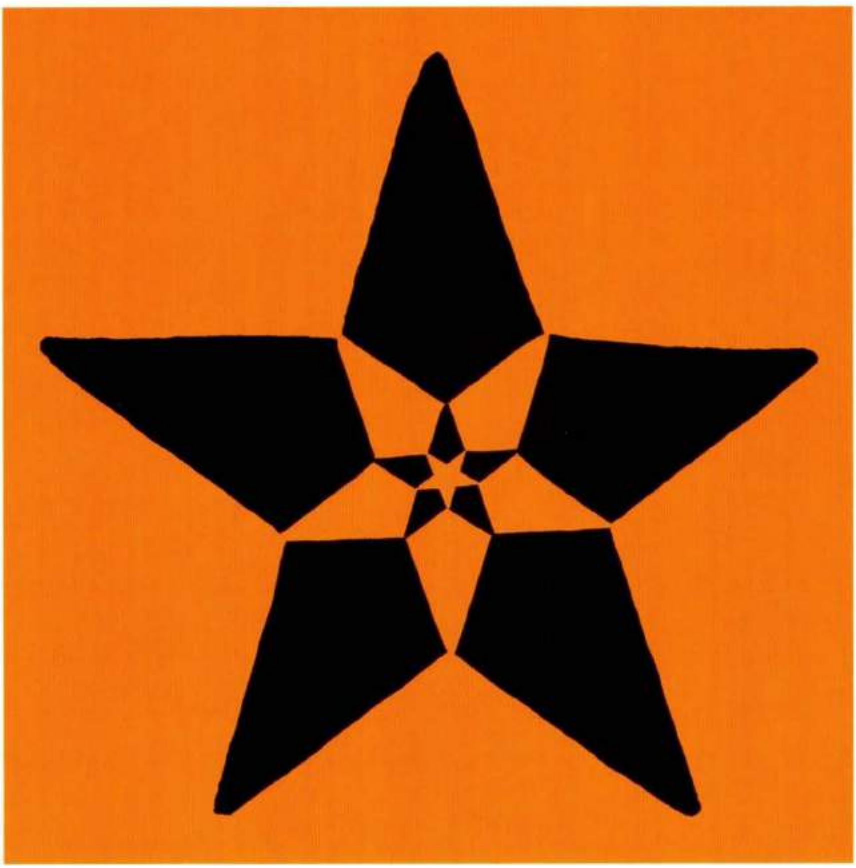
Boşlukların büyüklüğü astronomları şaşırttı. Yıldızları ve galaksileri oluşturan malzemenin kütleçekimsel çöküşüyle tamamen boşalmış olamayacak kadar genişti; yani Evren'in başlangıcından beri boş olmalılar. Kozmologlar, süper-kümelerin ve boşlukların büyük ölçekli düzeninin, Evren'in şişme çağında kuantum dalgalanmalarının mirası olduğunu varsayıyorlar. Kuantum dalgalanmaları, uzayda noktalardaki enerji miktarında kısa süreli değişimlerdir. Bu küçük ama oldukça anlamlı düzensizlikler, Evren'in var oluşunun birinci saniyesinin ilk anındaki dokusuna kilitlendi ve hâlâ vardır. Şimdi karışık bir madde örüntüsünün yayıldığı geniş boşluk alanlarıdır. ■



Evren'in bir bölümünün bilgisayar simülasyonu, geniş uzay boşluklarında uzun ipliksi yapılarda ve "duvarlar"da kümelenen 10.000 galaksinin dağılımını gösteriyor.

YILDIZLAR İÇTEN BAŞLAYIP DIŞA DOĞRU OLUŞUR

DEV MOLEKÜL BULUTLARININ İÇİ



KISACA

ASTRONOM
Frank Shu (1943–)

ÖNCE
1947 Bart Bok karanlık bulutsuları gözlemler ve yıldız oluşum alanları olduklarını öne sürer.

1966 Frank Shu ve Chia-Chiao Lin, Samanyolu'ndaki sarmal kolları açıklamak için yoğunluk dalgası teorisini geliştirir.

SONRA
2003 Kızılaltı gözlemevi olan Spitzer Uzay Teleskobu fırlatılır. Yıldız fidanlıklarının en iyi manzarasını üretiyor.

2018 James Webb Uzay Teleskobunda ilk ışık, astronomların, Bok kürecikleri içindeki ön-yıldızları incelemelerine olanak sağlayacak.

Yıldızlar, dev molekül bulutları (DMB) denilen karanlık toz ve gaz kürecikleri içinde oluşur. Ne var ki, bir gaz bulutunun embriyon bir yıldıza ya da ön-yıldıza dönüşme süreci, kısmen sürecin milyonlarca yıl sürmesi nedeniyle kısmen en ileri teleskopların bile bulutun karanlık yoğunluğuna girmesinin zor olması nedeniyle, hiç gözlemlenmemiştir.

Gözlem kanıtları olmayan astrofizikçiler, bu karanlık küreciklerin içinde gerçekleştiğini düşündükleri şeylerin matematiksel modellerini kurmalıdırlar. En tutarlı yıldız oluşum modelini, ABD'li matematikçi Frank Shu türetti. Shu ve California Üniversitesindeki çalışma arkadaş-

Ayrıca bakınız: Yıldız bileşimi 162-63 ▪ Yıldızlarda nükleer füzyon 166-67 ▪ Enerji üretimi 182-83 ▪ Yoğun molekül bulutları 200-01 ▪ Uzak yıldızları incelemek 304-05 ▪ Jeans (Rehber) 337 ▪ Ambartsumian (Rehber) 338



Yaratılış Sütunları, yeni yıldızların oluştuğu büyük gaz ve toz bulutlarıdır. Bu ünlü görüntüyü, 1995'te Hubble Uzay Teleskobu çekti.

ları Fred Adams ve Susana Lizano, 20 yıllık bir çalışmadan sonra 1986'da kendi modellerini sundular.

İçten dışa modeli

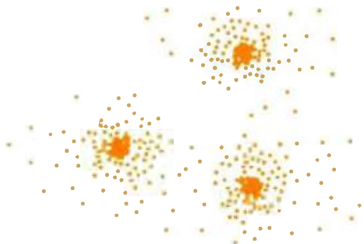
Shu'nun modeline "tekil izotermal model" ya da "içten dışa modeli" denilir. Gaz bulutları dinamiğini tanımlayan, sıcaklık, yoğunluk, elektrik yükü ve manyetizma gibi faktörleri hesaba katan karmaşık matematikten inşa edilmiştir. Shu'nun modeli, süreci öz-benzeş yaparak çalışır. Gaz bulutunun bir kısmının büzülüp yoğun bir çekirdeği dönüşmesine neden olan başlangıç koşulu, daha fazla gazın çekirdekle birleşmesine neden olan aynı –ya da benzer– koşullarla sonuçlanacaktır. Bu sürecin, genç yıldız büyürken onu bir arada tutacak kadar istikrarlı olduğu görüldü. Daha önceki modeller, gazı içeri çeken ve ısıyı dışarı atam mekanizmaları dengelemenin bir yolunu bulamadıkları için başarısız olmuştu; sonuç olarak bu modeller, genç yıldızın dağılmasıyla sonuçlandı. DMB'ları galaksinin, hidrojen atomlarıyla ve toz ve buz zerreleriyle karışık moleküllerle dolu bölgeleridir. Tipik olarak bir DMB, Büyük Patlamanın ürettiği ilkel gazlar ile çoktan ölmüş yıldızların kalıntılarının bir karışımı olan, 100.000 Güneş kütlesi malzeme içerir. DMB, büyük ölçüde bir galaksinin sarmal kollarında bulunur.

1960'ların ortasına Shu ve ünlü Çinli-Amerikalı matematikçi Chia-Chiao Lin, sarmal bir galaksinin dönüşünü modelledi ve kolların, yoğunluk dalgalarında –yıldızların "trafik sıkışıklığı"– bulunduklarını gösterdi. Bu tür yoğunluk dalgaları, yıldızlararası malzemeyi DMB'nın içine süpürür ve bu, yıldız oluşumunu tetikler.

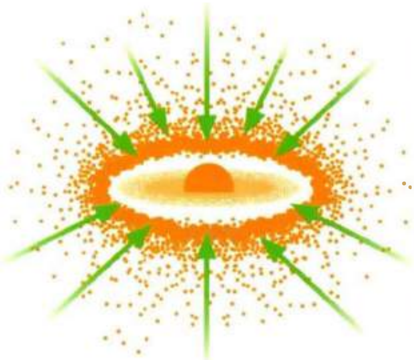
Bir yoğunluk dalgasının ya da yakındaki bir süpernovada büyük bir patlama gibi daha şiddetli bir



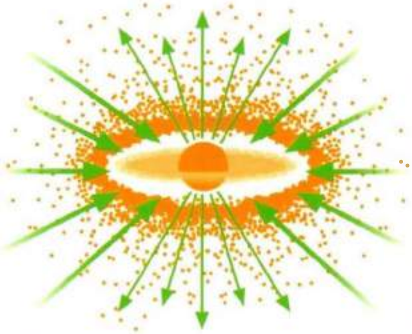
Frank Shu'nun içten dışa modeli, dev molekül bulutundan bir yıldızın oluşmasının dört evresini açıklar.



1 Manyetik kuvvetler ve türbülans sakinleşince, DMB içinde çekirdekler oluşur.



2 Bir ön-yıldız, etraftaki bulutsu diskle birlikte bir bulut çekirdeğinin merkezini oluşturur, içten dışa çöker.



3 Sistemin dönüş ekseni boyunca bir yıldız rüzgârı çıkıp, iki kutuplu bir akış yaratır.



4 Malzeme düşüşü sona erer, yeni oluşmuş bir yıldız çevre diskiyle birlikte ortaya çıkar.

şeyin etkisi, bir DMB içinde türbülans yaratır. Ne var ki, oldukça karışık manyetik alanlar bulutun içinden geçer ve türbülansın bulutu parçalamasını önler. Manyetizma, bulutun kendi kütleçekim altında çökmesini de önler.

Bulut çekirdekleri

Milyonlarca yıl içinde gazlardaki manyetik basınç ve türbülans dağılıp, yavaş dönen "bulut çekirdekleri"nin oluştuğu sakin bölgeler yaratır. Daha yakından incelendiğinde DMB tek biçimli değildir ama Bok kürecikleri olarak bilinen daha yoğun malzeme topaklarından ya da parçalarından oluşur. Her küreciğin, çok sayıda bulut çekirdeği içerdiği sanılıyor.

Shu'nun modeli, çekirdeğin tek bir izotermal (sıcaklığı eşit) küre ya da ona çok yakın bir şey haline geldiğini varsayar. Yani, gaz topunu bir araya çeken kütleçekim, hareket eden gazın ve manyetik kuvvetlerin dışa doğru basıncıyla dengelenir. Böyle bir durum uzun süre devam edemez ve çekirdekte büzücü kütleçekim kuvveti, dışa doğru basınca karşı gelir.

Bulut çekirdeğinin iç bölgesi büzülüp, merkezde yoğun bir gaz topu oluşturur. Bu, ön-yıldızdır. Ön-yıldızlar hızlı bir süreçle oluşmaz, oluşmaları milyonlarca yıl ve büyüyüp tam bir yıldıza dönüşmeleri milyonlarca yıl daha alır. Ön-yıldız, sistemin dönüşüyle oluşan bir malzeme diskiyle çevrilidir ve etraftaki gaz zarfından içeriye dalgalar halinde malzeme çekilir. Her dalgayla birlikte ön-yıldızın kütlesi ve daha yayık diski büyür ve kütleçekim de artar. Artan kütleçekim durmadan daha uzaktan malzeme içeri çeker; "içten dışa çöküş" olarak sürecin tarifi böyledir.

Yıldız kütle toplar

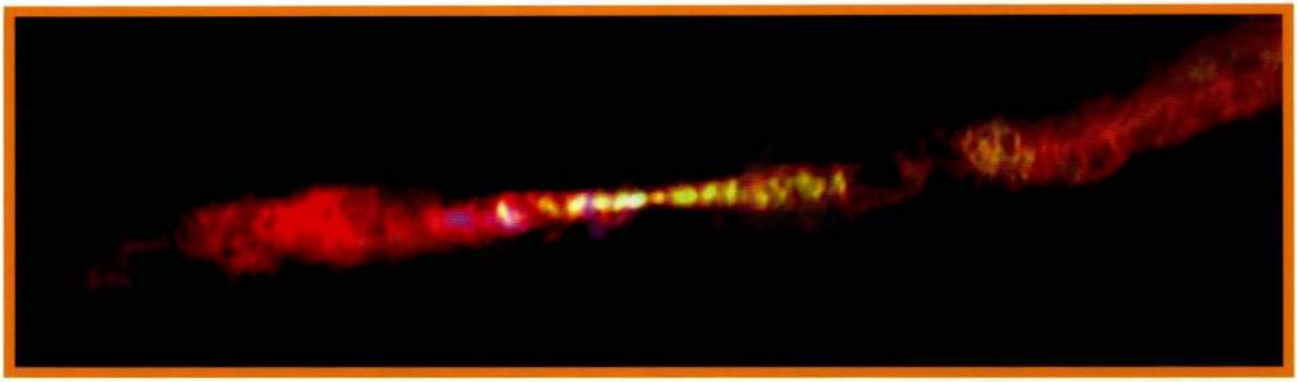
Ön-yıldız yoğunlaştıkça ısınır ama hâlâ çekirdeğindeki hidrojeni eriterek enerji üretemeyecek kadar küçük ve soğuktur. Yüzeyine konan yeni malzemenin kuvveti de, ön-yıldızın yaydığı ısıyı artırır. Bu evrede, görünmesini zorlaştıran soluk kızılaltı ve mikrodalga ışınım dışarıya verir. Ne var ki, sonunda ön-yıldız füzyonun başlaması için yeterli kütleyi toplar ama başlangıçta yalnızca hidrojenin ağır bir izotopu olan döteryum yanmaya başlar. "Yetişkin" yıldızdan farklı olarak bir ön-yıldız, bir konveksiyon süreciyle ısı salar. Bir tenceredeki sıcak suyun kaynayınca dönmesiyle aynı şekilde, çe-

Frank Shu

Çin'de Kunming'de doğan Frank Shu altı yaşındayken Amerika Birleşik Devletleri'ne, MIT'de araştırma yapmaya başlayan akademik matematikçi babasının yanına gitti. Frank, babasını izleyerek MIT'de gitti ve 1963'te fizik diploması aldı. Oradayken, sarmal kolların yoğunluk dalgası teorisi üzerine çalıştı. Sonra Harvard'a geçip, 1968'de astronomi dalında doktorasını tamamladı. Shu, Berkeley'deyken ön-yıldız modeli üzerine çalıştı ve 1986'da izotermal küre modelini sunduğu sırada astronomi bölümünün başkanıydı. Bugün Shu, Berkeley'de kadrolu çalışmaktadır. Son yıllarda, astrofizik bilgisini kullanarak iklim değişikliği sorununu ele almaktadır. Çoğu kez "Shu Fabrikası" olarak bilinen lisansüstü öğrencilerle birlikte çalışır.

Önemli eserleri

1981 *The Physical Universe*



kirdekten ısı yüzeye çıkar. Yıldızın dönüşü ve konveksiyon her kutuptan dışarı iten, toz ve gaz zarfında dar bir delik açan güçlü bir manyetik alan yaratır. Büyüyen ön-yıldızın ısısı ve bir plazma rüzgârı, bu kutupsal jetlerle yıldızdan uzağa yönlendirilir. Shu modelinin açıkladığı bu özellikler, gözlemlerle doğrulandı.

Bir yıldız olmak, neredeyse

Güneş kütleli bir yıldız, yaklaşık 10 milyon yılı bir ön-yıldız olarak geçirir. Kütlesi arttıkça kutupsal jetlerin açısı genişler, daha fazla gaz bulutu iter. Sonunda ön-yıldızın yıldız rüzgârı, yıldızın bütün yüzeyinde çıkar ve gaz bulutunu tamamen dağıtır. Bu noktada genç yıldız nesnesi ilk kez ortaya çıkar. Dev yıldızlar (8 Güneş kütlesinden büyük) bu noktada hidrojen yakmaya başlamış ve kısa, parlak bir ömür geçirmeye mahkûm tam yıldız haline gelmiştir. Ne var ki, daha küçük yıldızlar –8 Güneş kütlesinden küçük– tam bir füzyon süreci başlatmamıştır ve ana-sekans-öncesi yıldız (ASÖ) olarak bilinirler.

Bir ASÖ yıldızın, hâlâ etrafında dönen bir malzeme diski vardır. Bunun bir kısmı, yıldız rüzgârıyla daha geniş DMB'nun içine dağıtılacaktır. Geriye kalanın, özellikle küçük yıldızların etrafında, dev gaz gezegenler ve belki daha sonra kayalık gezegenler oluşturmaları olasıdır.

Son ateşleme

Yıldız oluşumunun son evresi, hızlı dönen ASÖ yıldızının büzülmesidir. Kırmızı, turuncu ve sarı cüceler (M, K, G ve F tipi yıldızlar) 2 Güneş kütlesinden küçük ASÖ yıldızlarından oluşur. Yetişkin biçimlerinden daha fazla geniş ve daha az yoğundurlar ve sık sık yüksek enerjili X-ışını patlamalarıyla noktalı geniş yüzey alanlarından dışarıya ışık verdikleri için çok daha parlak görünürler. Bu enerji nükleer füzyonun değil, kütleçekimsel büzülmenin ürünüdür. ASÖ yıldızının hidrojen yakmaya başlamasına yetecek kadar büzülmesi yaklaşık 100 milyon yıl alır ve o zamana kadar ilk kütlesinin yarısı ila dörtte üçünü kaybetmiş olur. Daha büyük ASÖ yıldızları (2 ile 8 Güneş kütlesi arasında yıldızlar) füzyona ulaşmak için farklı bir yol izler ve ender mavi cüceleri (A ve B tipi yıldızlar) oluşturur.

ASÖ yıldızlar, yıldız oluşumunun net görülen en ilk evresidir. Spitzer ve Hubble gibi kızılaltı uzay teleskopları, soluk ön-yıldız görüntüleri sundu ama büyük ölçüde, karanlık toz bulutlarıyla örtülüdür. NASA'nın yeni kızılaltı James Webb Uzay Teleskobu o tozun içini görecek kadar hassas tasarlandı; bu yüzden, çok geçmeden bir yıldızın doğum anı belki gözlemlenebilir. ■

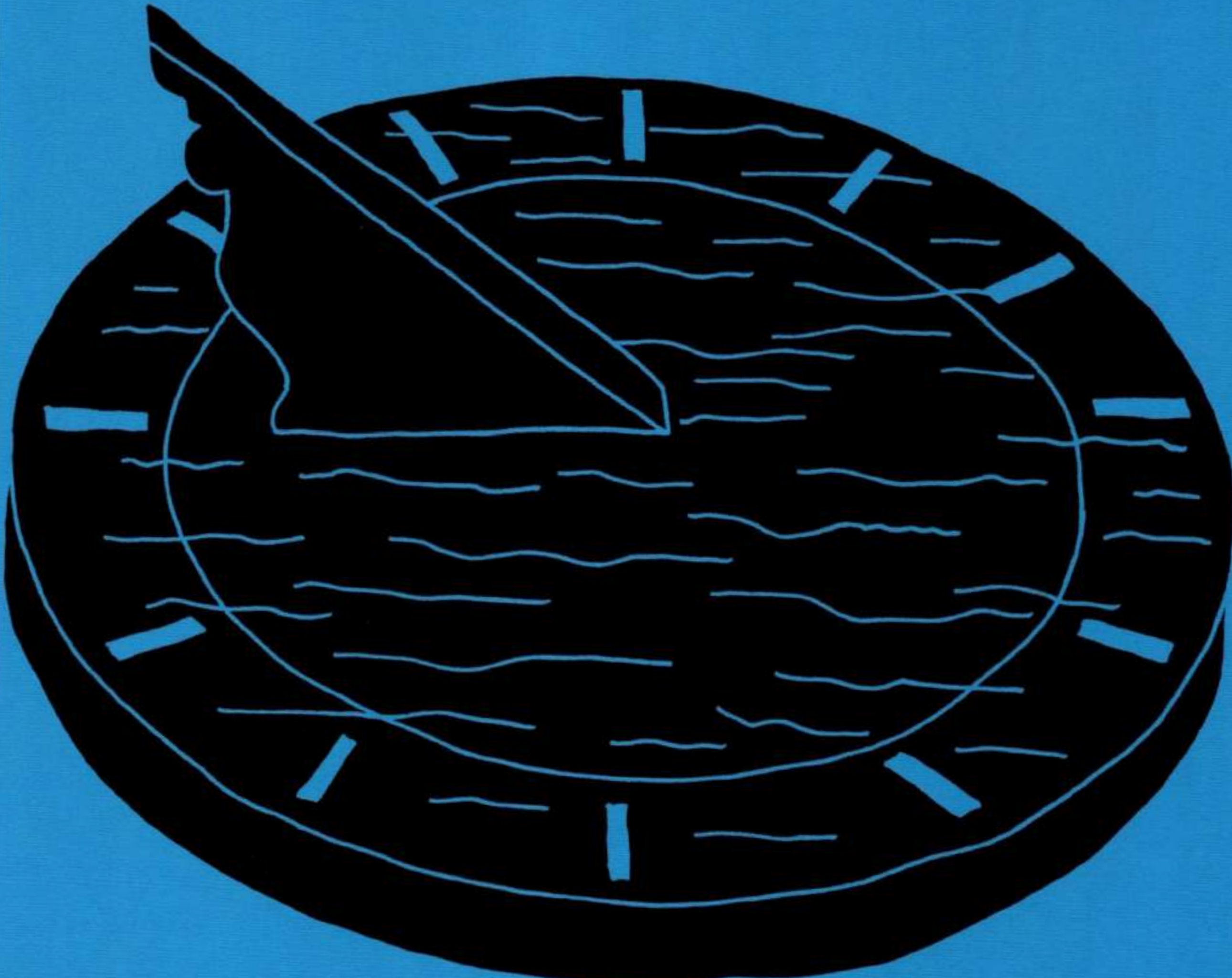


Boğa takımyıldızında genç yıldız HL Tauri'nin etrafını saran bir ön-gezegen diski. Karanlık bölgelerin, yeni oluşmakta olan gezegenlerin olası konumlarını temsil ettiği sanılmaktadır.

Bebek bir yıldız, neredeyse simetrik iki yoğun gaz jetinin ortasında oturuyor. CARMA-7 olarak bilinen yıldız, Dünya'dan yaklaşık 1.400 ışık yılı uzaktadır.

ZAMANDA KIRIŞIKLIKLAR

CMB'Yİ GÖZLEMLEMEK



KISACA

ASTRONOMLAR
George Smoot (1945–)
John Mather (1946–)

ÖNCE
1964 Kozmik mikrodalga ardalan –Büyük Patlamanın bir yansıması– keşfedilir.

1981 Alan Guth kozmik şişmeyi, Büyük Patlama sırasında enerji yoğunluğu dalgalanmalarının uzaya kilitlendiğini öne süren bir teori önerir.

1983 Kızıla kayma araştırmaları, galaksilerin hiçlik boşlukları etrafında kümelediklerini gösterir.

SONRA
2001 Wilkinson Mikrodalga Anistropy Probe, CMB haritasını arıtmak için fırlatılır.

2015 Planck gözlemevi CMB'yi inceleyip, Evren'in yaşını 13, 813 milyar yıl +/- 38 milyon yıl olarak düzeltir.

Uzayzamanı her zaman uzayın gerçek tözü olarak; galaksileri ve yıldızları da okyanusun üzerindeki köpük gibi düşünürüm.
George Smoot



The Cosmic Microwave Background Explorer (COBE Kozmik Mikrodalga Ardalan Kaşifi) uzayda dört yıl geçirip CMB'le ilgili bilgi topladı. Her altı ayda bir gök küreyi tamamen taradı.

Kozmik Mikrodalga Ardalan ya da CMB, 1964'te keşfedildi. Büyük Patlamanın ardında kalan parıltıdır ve bilim insanlarının 13,8 milyar yıl önce Evren'in var olmasını sağlayan olayı gözlemleyebilecekleri kadar yakındır. Evren'de gözlemlenen yapıları CMB'de fark edilen özelliklerle ilişkilendirmek, kozmologlar için kilit bir görev olarak durmaktadır.

Kırışık zaman

İlk büyük atılım, NASA'nın 1989'da fırlatılan uydusundan, COBE olarak bilinen Kozmik Mikrodalga Ardalan Kâşifinden geldi. COBE'de George Smoot, John Mather ve Mike Hauser'in tasarladığı ve yönettiği dedektörler, görünür Evren'de, Smoot'un "zamanda kırışıklıklar" olarak tarif ettiği en eski yapıları bulabildi. Başka türlü tek-biçimli olan uzayda bu kırışıklıklar eskiden, yıldızları ve galaksileri oluşturacak malzemeyi içeren yoğun bölgelerdi. Bugün Evren'de görülen büyük duvarlara ve büyük ölçekli galaksi süper-kümelerine karşılık gelirler ve Amerikalı Alan Guth'un önerdiği şişen erken Evren modeline ağırlık katar.

CMB Büyük Patlamadan yaklaşık 380.000 yıl sonra, ilk atomlar oluştuğu sırada (s. 196-97) salınan bir ışınım ışıltısıdır. Genişleyen Evren, kararlı hidrojen ve helyum iyonlarının (pozitif yüklü çekirdekler) oluşmasına yetecek kadar soğumuştu ve biraz daha soğuduktan sonra iyonlar elektronları toplayıp nötr atomlar yapmaya başladı. Uzaydan serbest elektronların alınması fotonların (ışınım parçacıkları) salınmasına yol açtı.

Bu fotonlar şimdi CMB olarak görülebiliyor. CMB istisnasız bütün gökyüzünden gelir. Kızıla kaymıştır (dalga boyları uzamıştır) ve ilk ışınımın dalga boyları nanometreyle (bir metrenin milyarda biri) ölçüldüğü halde, şimdi birkaç milimetrelik dalga boyları vardır. Önemli CMB gözlemlerinden biri 1970'lerde yapıldı ve Büyük Patlamanın bir yansıması olduğu konusunda hiçbir

Ayrıca bakınız: Evren'in doğuşu 168-71 ▪ Büyük Patlama arayışı 222-27 ▪ Kozmik şişme 272-73 ▪ Kızıla kayma araştırmaları 274-75 ▪ Tegmark (Rehber) 339

kuşku bırakmadı. CMB ışınımının termal tayfının, teorik bir kara deliğin (s. 225) tayfına çok uyduğu keşfedilmişti.

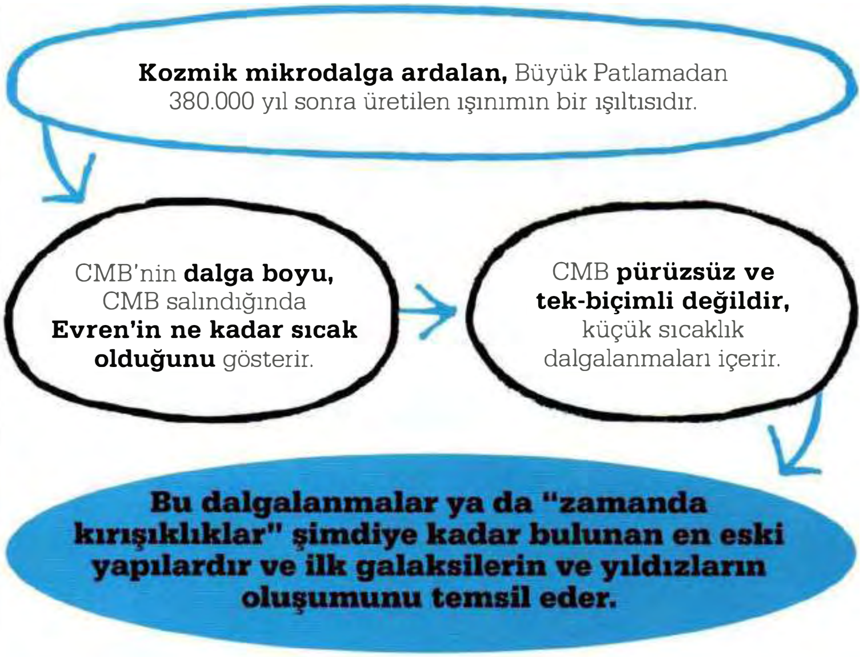
Kara cisimler

Kara cisimler gerçekte yoktur –yapılamazlar ve Evren'de gözlemlenen hiçbir nesne, kara cisimlerin teoride yaptıklarını yapmaz. Bununla birlikte, CMB, şimdiye kadar bulunan en yakın dengidir.

Bir kara cisim, kendisine çarpan her ışınımı soğurur. Hiçbir şey yansımaz. Ne var ki, soğurulan ışınım nesnenin termal enerjisini artırır ve bu, ışınım olarak salınır. 1900'de kuantum fiziğinin kurucusu Alman Max Planck, bir kara cismin saldığı ışınım tayfının tamamen sıcaklığa bağlı olduğunu gösterdi.

Sıcaklıkla birlikte değişen ışınımın gündelik bir örneğinde, demir bir çubuk ilk ısıtıldığında kırmızı parlar. Daha fazla ısıtılınca turuncu olur ve sonunda "mavi sıcak" parlar. Demirciler, demirin rengine bakarak kabaca sıcaklığına karar vermeyi öğrenirler. Metal, teorik anlamda bir kara maddeye çok yakın değildir ama yıldızlar ve diğer astronomik nesneler bir kara cisme çok daha denktir; bu nedenle emisyonlarının rengi ya da dalga boyları teorik bir kara cismin termal tayfıyla karşılaştırılıp, görece kesin bir sıcaklık verilebilir.

Bugün CMB'ın sıcaklığı 2,7 K'dır. Bu sıcaklıkta termal tayf görünür ışık içermez; uzayın insana siyah görünmesinin nedeni budur. Bununla birlikte zaman içinde Evren genişledikçe tayf kızıla kaçmıştır (gerilip uzamıştır). CMB'ın salındığı



George Smoot



Smoot çocukluğunu Florida ve Ohio'da geçirdikten sonra, kariyerine MIT'de çalışan bir parçacık fizikçisi olarak başladı. İlgi alanı kozmolojiye kaydı ve ülkeyi baştan başa geçip Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarına gitti. Smoot orada CMB'yi inceledi ve ışınımını ölçme yollarını geliştirdi.

Smoot'un ilk çalışmaları, yüksek irtifalı U2 casus uçaklarına dedektör takmakla ilgiliydi; ama 1970'lerin sonunda, dedektörünü uzaya götürecek COBE projesiyle ilgilendi. COBE'deki başarısından sonra Smoot, Keay Davidson'la birlikte keşfi açıklayan *Wrinkles in Time*'ı yazdı. Smoot, COBE çalışmalarından ötürü 2006'da John Mather ile birlikte Nobel Ödülü kazandı. Söylendiğine göre ödül parasını hayır kurumlarına verdi. Bununla birlikte üç yıl sonra Smoot, Amerika'da yayınlanan yarışma programı *Are You Smarter Than a 5th Grader?*'da 1 milyon dolar kaldırınca, daha büyük bir meblağ kazandı.

Önemli eserleri

1994 *Wrinkles in Time* (Keay Davidson'la birlikte)

anın dış değerini hesaplamak, yaklaşık 3000 K'lık bir ilk sıcaklık verir. Bu sıcaklıkta ışınımın rengi turuncudur; bu nedenle CMB, uzayın her noktasında parlayan bir turuncu ışık ışıltısı olarak başladı.

Pürüzsüz sinyal

İlk CMB gözlemleri, izotropik olduğunu, yani tayfının her yerde aynı olduğunu göstermekteydi. Kozmolojide yoğunluk, enerji ve sıcaklık terimleri, erken Evren tartışıldığında bir bakıma eşanlamlıdır. Bu nedenle, CMB'nın izotropik doğası, o ilk günlerde uzayın tek-biçimli bir enerji yayılımı ya da yoğunluğu olduğunu göstermekteydi. Ne var ki, bu, geliştirilen Büyük Patlama teorilerine uymuyordu; bu teorilere göre maddenin ve enerjinin genç Evren'de yayılmaması, yer yer yoğunlaşması gerekiyordu. Bu yoğun alanlar ya da anizotoriler, yıldızların ve galaksilerin oluştuğu yerlerdi. Anizotropi bulup bulamayacağını görmek ve CMB'nin bakıldığı yere bağlı olarak hafif de olsa değişip değişmediğini anlamak için COBE, uzaya CMB'ye daha yakından bakmaya gönderildi.

COBE'nin görevi

CMB'yi uzaydan inceleme görevi, 1970'lerin ortasından beri planlama evresindeydi. COBE'nin yapımına 1981'de başlandı. Başlangıçta kutupsal yörüngeye girmesi (yörüngesinin her iki kutuptan geçmesi) tasarlandı. Ne var ki, 1986 Challenger felaketi mekik filosunun uçuşlarını durdurdu ve COBE ekibi, başka bir fırlatma sistemi aramak zorunda kaldı. 1989'da uydu, bir Delta roketi kullanılarak fırlatıldı ve Güneş-eşlemeli yer-merkezli bir yörüngeye yerleştirildi –günün aynı zamanında Dünya'da her yerin üzerinde geçmesini sağlayacak bir yörüngeye. Bu, bir kutupsal yörünge kadar iyi çalıştı; çünkü COBE'nin yüzünü Dünya'dan çevirip gök kürenin tamamını dilim dilim taramasına olanak vermekteydi.

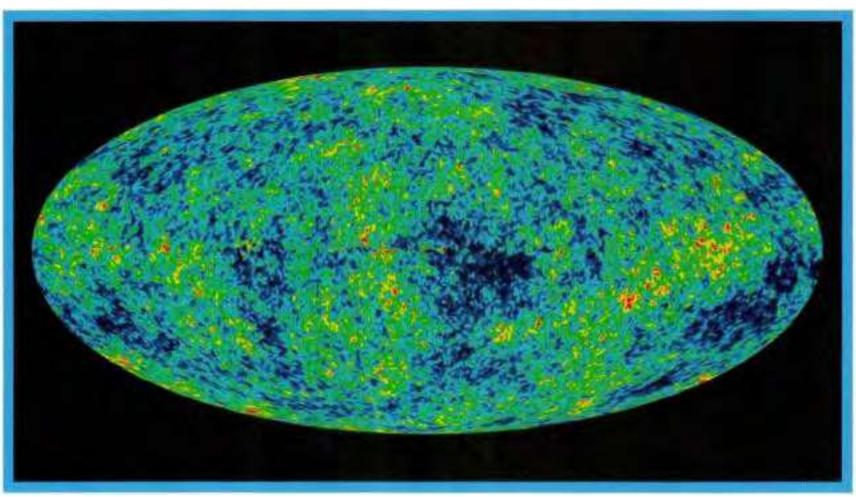
Uzay aracı, koni şeklinde bir kalkanla Güneş'in ısısından ve ışığından korunan ve 650 litre sıvı helyumla 2 K'ya kadar soğutulan (uzaydan daha soğuk) üç alet taşımaktaydı. George Smoot, CMB'nin kesin dalga boylarının haritasını çıkaran Diferansiyel Mikrodalga Radyometreyi (DMR) kullanırken; John Mather de, CMB tayfıyla ilgili veri toplayan FIRAS'tan (Uzak-Kızılaltı Mutlak Spektrofotometre) sorumluydu. Bu iki deney, anizotropi arıyordu. COBE'deki üçüncü dedektörün biraz farklı bir hedefi vardı. Mike Hauser'in yönettiği Dağınık Kızılaltı Ardalan Deneyi, ancak ısı ışınımlarıyla (kızılaltı) görülebilecek kadar eski ve uzak olan galaksiler buldu.

> COBE bütün zamanların değilse bile yüzyılın en büyük keşfini yaptı.
> **Stephen Hawking**

COBE'nin aletleri, bugüne kadar en doğru CMB haritasını yarattı. Bu, basit bir araştırma işi değildi. Smoot ve Mather temel anizotropilerle – yani, CMB oluştuğu sırada var olan yoğunluk farklarıyla– ilgileniyordu. Bunları bulmak için, COBE ile Evren'in kenarı arasında bulunan engellerin neden olduğu ikincil dalgalanmaları süzmeleri gerekiyordu. Toz bulutları ve kütleçekim etkileri, Dünya'ya yaptığı uzun yolculukta ışınımı bozmuştu. Üç aletten alınan veriler kullanılarak, bu ikincil anizotropiler saptanıp düzeltildi.

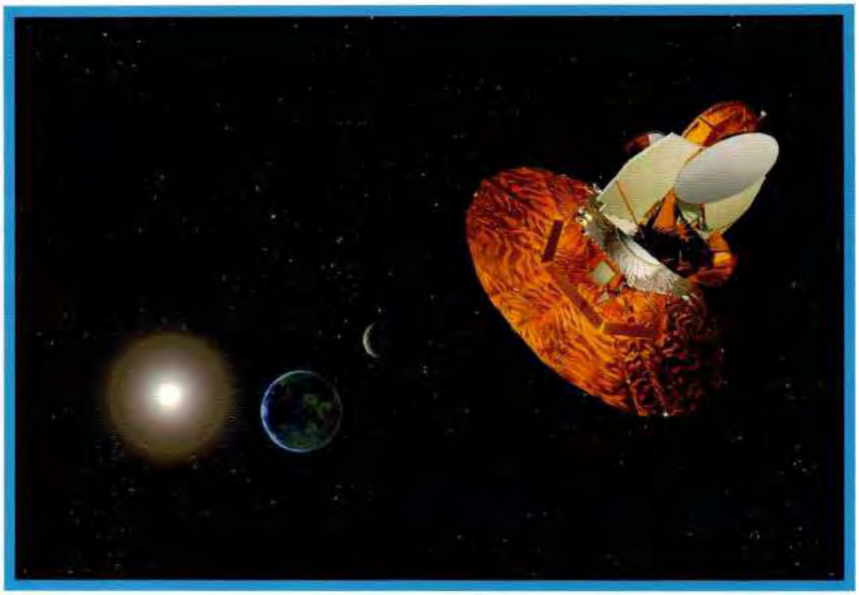
Küçük dalgalanmalar

Uzayda 10 ay geçirdikten sonra COBE'nin helyumu bitti; iki kızılaltı dedektörün işlevi sınırlandı ama DMR 1993'e kadar çalışmaya devam etti. 1992'e gelindiğinde COBE ekibinin analizi, aradıklarını göstermişti. CMB ve dolayısıyla erken Evren, tek-biçimli bir enerji damlası değildi. Aksine küçük ama anlamlı dalga-



2011'de WMAP'nin ürettiği tam uzay haritası, CMB izotropisinin birçok ince ayrıntısını gösterir.

WMAP, CMB'nin haritasını çıkarmaya ek olarak, Evren'in yaşını 13, 77 milyar yıl, kara maddeyi Evren'in yüzde 24,0'ı, kara enerjiyi yüzde 71,4'ü olarak ölçtü.



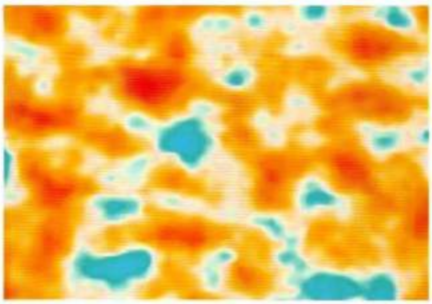
lanmalarla doluydu. Farklılıklar küçüktü; yoğunluk varyasyonları yaklaşık yüzde 0,001 civarındaydı. Bununla birlikte örüntü, Evren'in içeriğinin neden kümelendiğini, uzayın geri kalan kısmının büyük boşluklardan oluştuğunu açıklamaya yetiyordu. COBE'den sonra iki görev, CMB'ın resmine ayrıntılar ekledi. 2001 ile 2010 arasında NASA'nın Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) uydusu, COBE'den daha yüksek çözünürlükte bir CMB haritası çıkardı. Sonra, 2009-2013 arasında ESA'nın Planc Gözlemevi bugüne kadarki en doğru haritayı çıkardı.

Haritadaki her kırışıklık, yaklaşık 13 milyar yıl önce oluşan bütün bir galaksinin tohumudur. Bununla birlikte, bilinen hiçbir galaksi, CMB'de oluşurken görülemez. Bugün saptanan CMB ışıması, gözlemlenebilir Evren'in kenarından başlayıp Evren'in yaşının çok büyük bölümü boyunca yol almıştır. Astronomlar yalnızca 13,8 milyar ışık yılı uzağı görebilir ama Evren'in çok büyük bölümü bundan çok daha uzaktır. CMB'de oluşan galaksiler, şimdi gözlemlenebilir olanın çok ötesindedir ve ışık hızından daha hızlı uzaklaşıyorlar. ■

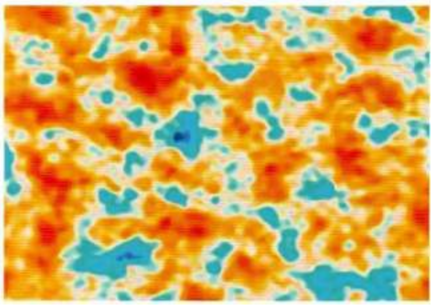
CMB'nin iyileşen çözünürlüğü



COBE'nin CMB görüntülemesi, tüm gökyüzü haritasının 10 kare-derecelik bir panelinde hafif varyasyonlar gösterir.



WMAP'ın CMB haritası aynı panelde daha fazla ayrıntı gösterip, COBE'nin saptayamadığı daha küçük ölçekli özellikleri açığa çıkarır.



Planck'ın çözünürlüğü, WMAP'ınkinden 2,5 kat fazladır, bir derecenin 1/12'si kadar küçük özellikleri gösterir. Bu, bugüne kadarki en ayrıntılı CMB haritasıdır.



KUIPER KUŞAĞI GERÇEKTİR

NEPTÜN'ÜN ÖTESİNİ ARAŞTIRMAK

KISACA

ASTRONOMLAR
David Jewitt (1958–)
Jane Luu (1963–)

ÖNCE
1930 Amerikalı astronom Clyde Tombaugh, Neptün'ün ötesinde yörüngede dönen Plüton'u keşfeder. Başlangıçta dokuzuncu gezegen olarak tanımlanır ama daha sonra yeniden sınıflandırılır.

1943 Kenneth Edgeworth, Plüton'un Dış Güneş Sisteminde bulunan birçok nesneden yalnızca biri olduğunu öne sürer.

1950 Fred Whipple, kuyrukluyıldızların buzlu doğasını "kirli kartopu" olarak tanımlar.

SONRA
2003 Kuiper kuşağının dış kenarının ötesinde, yörüngesi Güneş'ten 76 AU-1000 AU uzak olan Sedna keşfedilir.

2005 Kuiper kuşağının ötesindeki dişte Eris görülür.

2008 İki Kuiper Kuşağı Nesnesi, Eris, Plüton ve Ceres'le birlikte cüce gezegen olarak sınıflandırılır.

Dış Güneş Sistemi gezegenlerin oluşumundan kalan **artık malzeme** içerir.

Malzemenin bir kısmı **Güneş Sisteminin kenarından uzun-periyotlu kuyrukluyıldız** biçiminde yola çıkar.

Kısa-periyotlu kuyrukluyıldızlar, daha yakın bir **kaynaktan geliyor** olmalı.

Neptün'ün yörüngesinin ötesinde teorik bir buzlu cisim deposu olan **Kuiper kuşağı, kısa-periyotlu kuyrukluyıldızların kaynağı** olabilir.

1950'de Hollandalı astronom Jan Oort, potansiyel kuyrukluyıldızlardan oluşan küresel bir kabuğun yarım ışık yılı uzaktan Güneş Sistemini çevrelediğini öne sürdü. Oort bulutu denilen bu kabuk, Güneş'in yörüngesinde dönmeleri binlerce yıl alan uzun-periyotlu kuyrukluyıldızların kaynağıydı. Ama her birkaç yüzyılda bir Güneş'in yörüngesinde dönen kısa-periyotlu kuyrukluyıldızlar daha yakın olmalıydı. 1943'te İrlandalı bilim insanı Kenneth Edgeworth, kuyrukluyıldız deposunun Neptün'ün ötesinde bir kuşak olduğunu tahmin etti. Ama Hollandalı-Amerikalı astronom Gerard Kuiper, 1951'de, böyle bir kuşak bir zamanlar var olmasına rağmen, dış gezegenlerin kütleçekimyle saçılmış olacağını savundu. Bu, bir bilmeceydi ve çok uzak olan kuyrukluyıldız çekirdekleri, en iyi teleskoplar için bile çok soluktu.

1980'lerde, hassas yeni CCD (yük-bağlaşık aygıt) dedektörler kul-

Ayrıca bakınız: Kuiper kuşağı 184 ▪ Oort bulutu 206 ▪ Plüton'u incelemek 314-17



Yumurta şeklinde cüce gezegen Haumea, gökyüzünde iki uydusundan birinin, Namaka, üstünde asılı duruyor. 2004'te keşfedilen Haumea üçüncü en büyük cüce gezegendir.

lanıma girdi. Bu aletlerle birlikte astronomlar, Neptün'ün ötesindeki küçük buzlu nesneleri görme şansı buldu. Amerikalı David Jewitt ve Jane Luu, bu zor işe koyulan astronomlar arasındaydı. Beş yıllık araştırmadan sora 1992'de Jewitt ve Luu, resmi olarak 1992 QB1 adı verilen bir nesneyi, Plüton'dan beri Neptün'ün ötesinde bulunan ilk cismi ve Kuiper kuşağının gerçek olduğunun ilk kanıtını keşfetti.

Cubewano'lar ve plutino'lar

Şu anda 1000'den fazla Kuiper Kuşağı Nesnesi (KKN) biliniyor ve olasılıkla daha binlerce vardır. Asteroid olarak adlandırılırlar ama KKN'ler, pek çok asteroidten farklı olarak, tipik olarak bir kayaç ve buz karışımıdır. En büyükleri birkaç yüz kilometre boyundadır ve birçoğunun uydusu vardır.

1992 QB1, Güneş'ten yaklaşık 45 AU uzakta, Kuiper kuşağının en yoğun nüfuslu orta kısmında tipik bir KKN'dir. Bu KKN'lere bazen "cubewano'lar" denilir. Daha yakında, yaklaşık 40 AU'de, Neptün'ün kütleçekim Kuiper kuşağını inceltip, Neptün'ün kütleçekiminden etkilenmeyen yörüngelerde "plutino'lar" denilen bir nesne ailesi (Plüton'un kendisi de dahil) bırakır. Ana Kuiper kuşağının ötesinde, büyük Eris ve Sedna nesnelerini içeren ve "dağınık disk" denilen bir bölge vardır. Şimdi bu bölgenin, kısa-periyotlu kuyrukluyıldızların kaynağı olduğuna inanılır. 2006'da Eris, Plüton'la birlikte cüce gezegen olarak tanımlandı. O günden sonra iki cubewano daha, Makemake ve Haumea (Haumea'nın yörüngesinde iki küçük uydu döner), cüce gezegen olarak sınıflandırıldı; cüce gezegen adayı daha çok sayıda KKN vardır. Bilim insanları, KKN'nin gezegenleri oluşturan ilkel cisimlere benzediğine inanıyorlar. ■

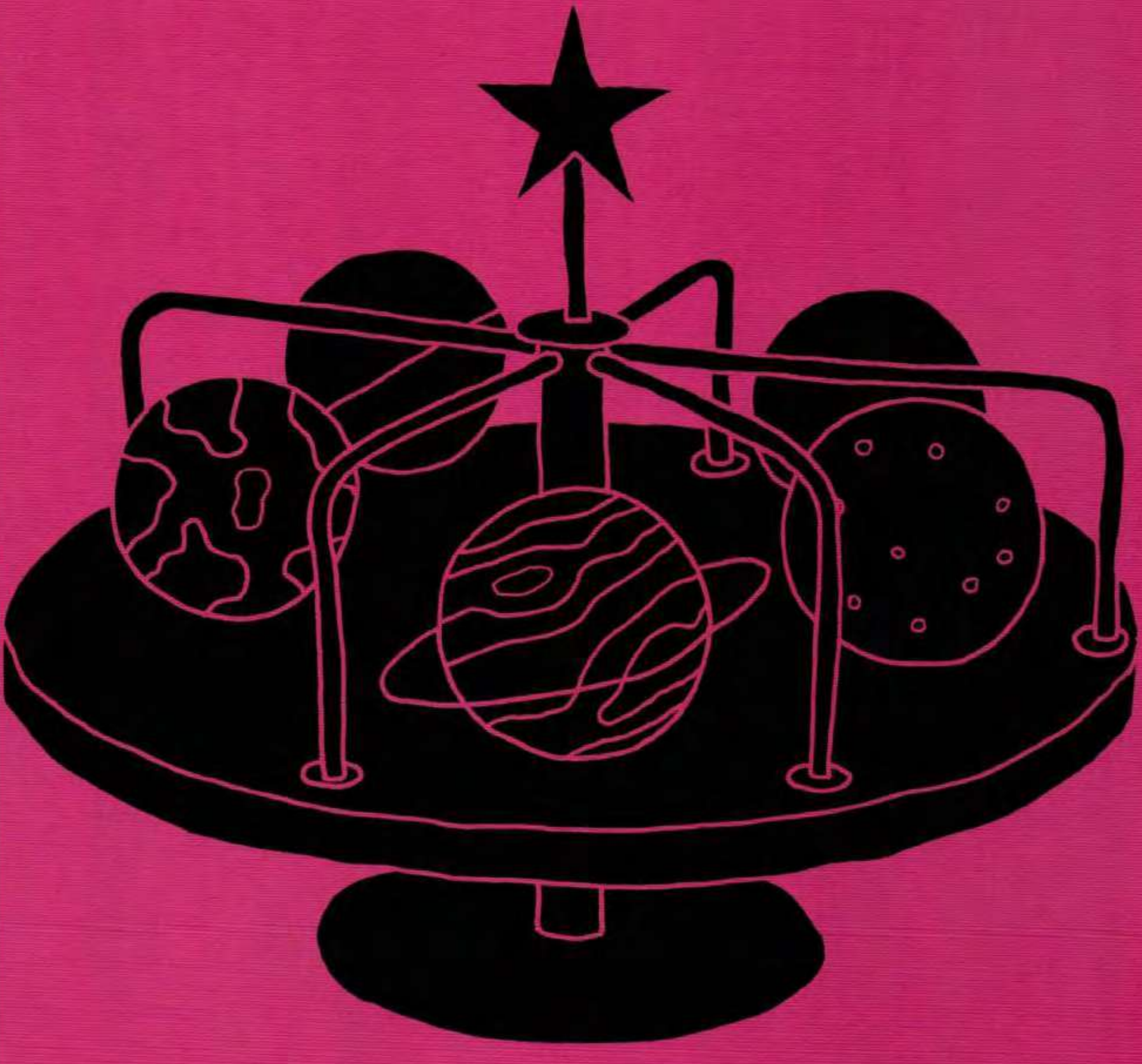
Gerard Kuiper



Gerard Kuiper 1905'te Hollanda'da doğdu. Az sayıda astronomun gezegenlerle ilgilendiği bir sırada, büyük ölçüde Chicago Üniversitesinde çalışan Kuiper, uzay biliminin seyrini değiştiren birçok keşif yaptı: Mars atmosferinin büyük çoğunlukla karbondioksit olduğunu, Satürn haklarının milyarlarca buz topağı içerdiğini ve Ay'ın, ince bir kaya tozuyla kaplı olduğunu buldu. 1949'da, gezegenlerin genç Güneş'in etrafını saran bir gaz ve toz bulutundan oluştuğunu öne süren Kuiper'in düşüncesi, bilim insanlarının erken Güneş Sistemine bakışını değiştirdi. 1960'larda Kuiper, Apollo programı için Ay'da iniş yerlerinin saptanmasına yardım etti ve çok sayıda çift yıldızı katalogladı. 1973'te 68 yaşında kalp krizinden öldü. 1984'ten beri Amerikan Astronomi Derneği, gezegen bilimindeki başarılara her yıl Kuiper Ödülü vermektedir; birçok kişi, astronominin bu alanında Gerard Kuiper'i öncü sayar.

PEK ÇOK YILDIZIN YÖRÜNGESİNDE GEZEGENLER DÖNER

ÖTE-GEZEGENLER



KISACA

ASTRONOMLAR
Michel Mayor (1942–)
Didier Queloz (1966–)

ÖNCE
1952 ABD'li bilim insanı Otto Struve, öte-gezegenler bulmak için ışınsal hız yöntemini önerir.

1992 Bu türden ilk gezegen bulunur; ana sekans yıldızı olmayan bir pulsarın yörüngesinde dönüyor.

SONRA
2004 Öte-gezegenleri görüntüleyebilecek James Webb Uzay Teleskobunun yapımına başlanır.

2005 Nice modeli, Güneş Sisteminin evrimi için dev gezegenleri Güneş'e daha yakın yerleştiren yeni bir düşünce önerir.

2014 European Extremely Large Teleskobunun yapımına başlanır.

2015 Turuncu bir cücenin etrafında Dünya büyüklüğünde kayaç bir öte-gezegen olan Kepler 442-b keşfedilir.

1995'te İsviçreli iki astronom, Marsilya'ya yakın Observatoire de Haute-Provence'de araştırma yapan Michel Mayor ve Didier Queloz, Pegasus takımyıldızında 60 ışık yılı uzakta Güneş'e benzer 51 Pegasi yıldızının yörüngesinde dönen bir gezgen buldu. Bu, gerçek bir öte-gezegenin –Güneş Sisteminin ötesinde gezegen– ilk doğrulanmış gözlemiydi. Bir ana sekans yıldızının yörüngesinde dönüyordu ve bu nedenle, Güneş Sistemini yaratanla aynı süreçle oluştuğu varsayıldı.

Mayor ve Queloz yeni gezegene 51 Pegasi b adını verdi ama gayri resmi olarak eski Yunan mitolojisinin kanatlı atı Pegasus'a binen kahramandan ötürü Bellerophon olarak bilinir. Bu gezegenin keşfedilmesi, daha fazla öte-gezegen bulmak için büyük bir seferberlik başlattı. 1995'ten beri, birçoğu çoklu yıldız sistemlerinde olmak üzere birkaç bin öte-gezegen bulundu. Şimdi astronomlar, galaksideki her yıldızın etrafında ortalama bir gezegen bulunduğunu tahmin ediyorlar; ama bu, çok tutucu bir rakam olabilir. Bazı yıldızların hiç gezegeni yoktur ama pek çoğunun, Güneş gibi, birçok gezegeni vardır.

> 2000 yıldan fazla bir süre boyunca insanlar, yaşanabilir başka dünyalar bulmayı düşledi.
> **Michel Mayor**

51 Pegasi b'nin keşfi, astronomları Dünya'nın Evren'de ayrıcalıklı bir yer işgal ettiği fikrinden vazgeçmeye zorlayan bir süreçte son kilometre taşıydı.

Copernicus ilkesi

1950'lerde Anglo-Avusturyalı astronom Hermann Bondi, insanlara kendileri hakkında düşünmeleri içiıı, Copernicus ilkesi dediği yeni bir yol tarif etmişti. Bondi'ye göre insanoğlu kendisini artık Evren için merkezi önemde eşsiz bir fenomen olarak göremezdi. Aksine, insanlar, varoluşlarının Evren bağlamında önemsiz olduğunu anlamalılar.

Michel Mayor



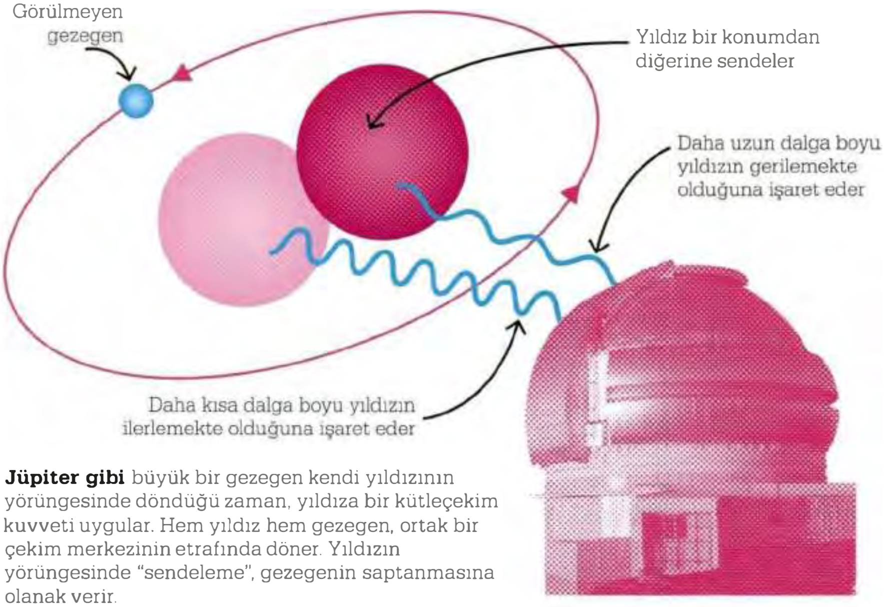
Michel Mayor İsviçre'de, Lausanne'da doğdu ve meslek yaşamının çoğunu Cenevre Üniversitesinde çalışarak geçirdi. Öte-gezegenlere ilgisi, Samanyolu'ndaki yıldızların özdevinimlerini incelerken başladı. Bu devinimi daha doğru ölçmek için, sonunda ELODIE ile sonuçlanan bir dizi spektrograf geliştirdi. Didier Queloz'la birlikte ELODIE projesinin başlangıçtaki niyeti, kahverengi cüceler – gezegenlerden daha büyük ama yıldız olacak kadar büyük olmayan nesneler– aramaktı. Ne var ki, sistem dev gezegenleri de saptayacak kadar hassastı ve 1995'teki keşiflerinden beri Mayor, Şili'de Avrupa Güney Gözlemevinin HARPS programında baş araştırmacıdır. Şimdiye kadar keşfedilen bütün öte-gezegenlerin yaklaşık yarısını onun ekibi buldu. 2004'te Mayor, Albert Einstein madalyasıyla ödüllendirildi.

Önemli eserleri

1995 *A Jupiter-mass Companion to a Solar-type Star* (Didier Queloz ile birlikte)

Ayrıca bakınız: Copernicus modeli 32-39 ▪ Radyo teleskopları 210-11 ▪ Uzak yıldızları incelemek 304-05
Uzayın daha ilerisine bakmak 326-27 ▪ Kumar (Rehber) 339

Bu ilke, ismini, Dünya'yı Güneş Sisteminin merkezinden alıp Güneş'in etrafında dönen birçok gezegenden biri yaparak insanoğlunun kendine bakışını değiştiren Nicolaus Copernicus'tan alır. 20. yüzyılın sonuna gelindiğinde peş peşe keşifler, Güneş Sistemini Evren'in merkezinden çıkarıp, 200 milyar yıldız daha barındıran bir galaksinin kenarında sakin bir kanat haline getirmişti. Galaksi de özel değildi; yüzlerce milyon ışık yılı boyunca uzanan ipliksi yapılar halinde düzenlenmiş en az 100 milyar galaksiden biriydi. Yine de Dünya gezegeni ve Güneş Sistemi hâlâ çok özel sayılıyordu –çünkü, yaşamı destekleyebilir gezegenler bir yana, diğer yıldızların gezegenleri olduğunu gösteren hiçbir kanıt yoktu. Ne var ki, Mayor ve Queloz'un keşfinden itibaren bu düşünce de Copernicus ilkesine boyun eğdi.



Jüpiter gibi büyük bir gezegen kendi yıldızının yörüngesinde döndüğü zaman, yıldıza bir kütleçekim kuvveti uygular. Hem yıldız hem gezegen, ortak bir çekim merkezinin etrafında döner. Yıldızın yörüngesinde "sendeleme", gezegenin saptanmasına olanak verir.

Sendeleyen ışık

Queloz ve Mayor, Doppler spektroskopisi denilen bir sistem kullanarak 51 Pegasi b'yi buldu. Işınsal hız ya da "sendeleme" olarak da bilinen Doppler spektroskopisi bir öte-gezegeni, ev sahibi yıldız üzerindeki kütleçekim etkisiyle saptayabilir. Yıldızın kütleçekim gezegeninkinden çok büyüktür ve gezegeni yörüngede tutan da budur. Bununla birlikte gezegenin kütleçekiminin de yıldız üzerinde küçük bir etkisi vardı; gezegen yıldızın etrafında dönerken, yıldızın ileri geri sendelemesine neden olur. Etki küçüktür: Jüpiter, Güneş'in hızını 11 yıllık bir dönemde yaklaşık 7,4 km/s değiştirir; Dünya'nın etkisiyse, yalnızca yılda 0,16 km/s.

1952'de ABD'li astronom Otto Struve, böyle bir yıldız sendelemesinin, bir yıldızın tayfında küçük dalgalanmalar olarak saptanabileceğini öne sürmüştü. Yıldız Dünya'dan uzaklaşınca, emisyonların ölçüsü biraz kızıla kaymış olur. Tekrar gözlemciye doğru sendelediğinde, maviye kaymış olur. Teori sağlamdı ama sendelemeyi saptamak ultra hassas bir dedektör gerektirmekteydi. Bu dedektör, Mayor'un 1993'te geliştirdiği ELODIE adlı bir spektrograftı. ELODIE daha önceki aletlerden 30 kat kadar daha hassastı. O zaman bile, yalnızca 11 km/s'lik hız değişimlerini ölçebiliyordu; yani Jüpiter büyüklüğünde gezegenleri saptamakla sınırlıydı.

> Bizimkine benzer güneş sistemleri görmeye daha fazla yaklaşıyoruz.
> **Didier Queloz**

Araştırmayı iyileştirmek

1998'de, CORALIE adlı daha da hassas bir spektrograf, Şili'de La Silla Gözlemevine kuruldu; bu da, ışınsal hız tekniğini kullanarak gezegen arıyordu. 2002'de Michel Mayor aynı yerde, Dünya büyüklüğünde öte-gezegenleri saptayabilen bir spektrograf kullanarak, HARPS'ı (Yüksek Doğruluklu Işınsal-hız Gezegen Arayıcı) denetlemeye başladı. Sendeleme yöntemi çok yavaştı; bu yüzden öte-gezegen saptamanın yeni teknikleri geliştirildi.

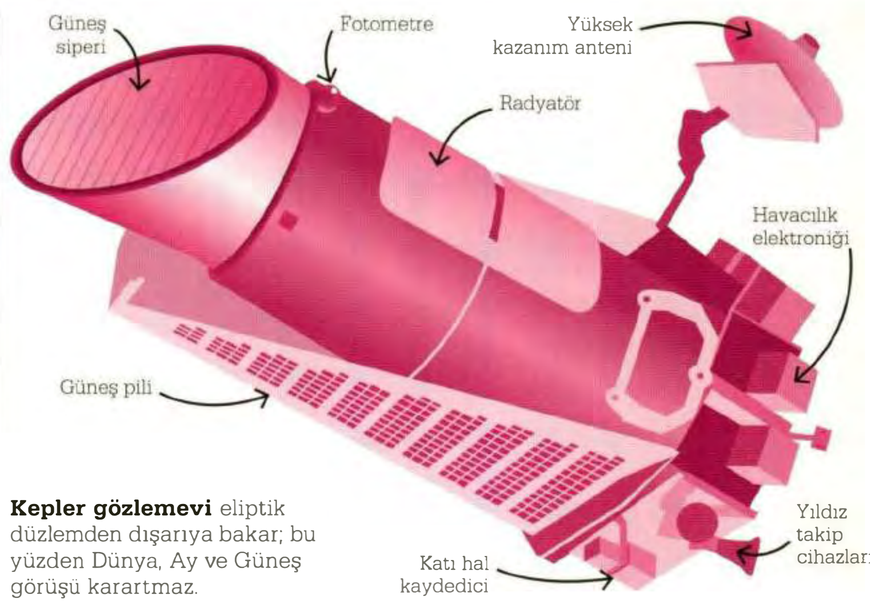
En başarılı yöntem, bir yıldızın parlaklığında dönemsel değişiklikler arayan geçiş yöntemiydi. Bu değişiklikler çok küçüktü ve bir gezegen yıldızı geçtiğinde, yıldız ile gözlemci arasından geçip çok hafif kararmasına neden olunca gerçekleşiyordu. Geçiş yöntemiyle öte-gezegen aramak için en iyi yer uzaydaydı; bu

yüzden 2009'da, adını gezegen yörüngelerini ilk açıklayan kişiden (s. 50-55) alan Kepler gözlemevi, bu işi yapması için fırlatıldı.

Bir yere bakmak

Kepler, günmerkezli bir yörüngeye yerleştirildi; Güneş'in etrafında dönen Dünya'nın peşine takıldı. Araç, uzayın Kepler alanı denilen tek bir parçasına açıklığını sabitleyecek şekilde tasarlandı. Bu parça, bütün uzayın yaklaşık yüzde 0, 25'ini oluşturmaktaydı ama uzay aracı bu alanda 150.000 yıldız görebiliyordu. Öte-gezegenleri bulmak için Kepler yıllarca yalnızca bu görüş alanına yoğunlaşacaktı. Bireysel öte-gezegenleri göremezdi ama gezegene sahip olmaları olası yıldızları tanımlayabiliyordu.

Kepler, yalnızca yörünge yolları uzay aracının görüş hattından geçen öte-gezegenlerin geçişlerini saptayabilirdi. Birçok öte-gezegen ters açıdan dönüyor olacaktı. Yönü doğru olanlar da, her yörünge periyodunda bir kez yıldızından geçecekti; bu yüzden Kepler'in yöntemi, yörüngeleri yıldızlarına yakın olan, her dönüşü tamamlaması birkaç yıl ve ay (hatta hafta ve gün) alan gezegenler bulmada daha iyiydi.



Kepler gözlemevi eliptik düzlemden dışarıya bakar; bu yüzden Dünya, Ay ve Güneş görüşü karartmaz.

Aday yıldızlar

2013'ün başına kadar Kepler, Güneş Sistemi dışında gezegen sistemine sahip olabilecek 4300 aday yıldız tanımlamıştı. Ne yazık ki, Kepler'i hedefe kilitli tutmak için kullanılan güdüm sistemi bozuldu ve böylece gezegen avı beklenenden yaklaşık üç yıl önce sona erdi. Bununla birlikte, topladığı veriler araştırmacıları yıllarca meşgul etmeye yetecek kadardı. Ancak Şili'deki HARPS ve Hawaii'deki Keck Teleskobu gibi, yer-tabanlı gözlemevlerinden alınan ışınsal hız ölçümleri kullanılarak Kepler'in aday yıldızları gezegen sistemi olarak doğrulanabilirdi. (Işınsal hız, yıldızın Dünya yönündeki hızıdır.) Şimdiye kadar, Kepler'in aday yıldızlarının yaklaşık onda birinin sahte aday olduğu kanıtlandı ama üç yıllık bir analizden sonra, program 1284 öte-gezegen tanımladı ve 3000'den fazla yıldız da incelenecek. Kepler alanındaki öte-gezegenlerin istatistiği çarpıcıdır –pek çok yıldız, bir gezegen sisteminin parçasıdır. Yani, Evren'deki gezegen sayısının yıldızların sayısından fazla olması olasıdır.

Bir geçiş sırasında kararma miktarı, bir öte-gezegenin ne kadar büyük olabildiğinin bir göstergesini



verir ama bir öte-gezegenin büyüklüğünün ve özelliklerinin incelenmesi hâlâ ilk evresindedir. Bir gezegenden yansıyan ışık, yörüngesinde döndüğü yıldızdan 10 milyar kat daha sönüktür. Astronomlar 2018'de James Webb Uzay Teleskobunun ve 2024'te Avrupa Aşırı Büyük Teleskobunun bu ışığı doğrudan görüntülemesini ve öte-gezegenlerin kimyasını analiz etmesini bekliyorlar. O zamana kadar çok az veriyi –gezegenin yaklaşık kütlesi, yarıçapı, yörünge uzaklığı ve yıldızın sıcaklığı– kullanarak tahminde bulunmak zorundadırlar. Bu veriler, gezegenin olasılıkla neden meydana gelmiş olabileceğini anlatır ve yüzey koşullarının nasıl olabileceğini ilişkin tahminde bulunmalarına olanak verir.

> 4-gün [yörünge] periyotlu bir gezegen bulmayı beklemiyorduk. Kimse bunu beklemiyordu.
> **Michel Mayor**

Sıcak ve süper Jüpiterler

Şimdiye kadar keşfedilen öte-gezegenler, Güneş'in gezegen sisteminin oluşturduğu nezih aile portresine bir yığın acayip dünya ekledi. Örneğin 51 Pegasi b, çok sayıda "sıcak Jüpiter'in ilkiydi. Bunların Jüpiter'inkine benzer bir kütlesi ve büyük ölçüde gazdan oluştuklarını gösteren bir büyüklükleri vardır. 51 Pegasi b'nin kütlesi Jüpiter'in yarısı kadardır ama biraz daha iridir. Bu gaz devi, dört günde bir Güneş'e benzer yıldızının yörüngesinde döner. Yani, kendi yıldızına, Merkür'ün Güneş'e olan yakınlığından daha yakındır. Böyle bir yakınlık, gelgite bağlı olarak yıldıza kilitli olduğu anlamına gelir –bir yüzü her zaman yakıcı güneş yüzeyine, diğer yüzü her zaman diğer tarafa bakar. Çok sayıda sıcak Jüpiter bulundu. Bunlar, gaz gezegenlerin buharlaşmadan bir yıldıza nasıl bu kadar yakın var olabildiklerini anlamaya çalışan bilim insanlarını şaşırttı. Bazı öte-gezegenler Jüpiter'den düzinelerce kat daha kütlelidir ve "süper-Jüpiter olarak bilinirler. Bu süper-Jüpiter gezegenler, anlaşılan, kütleleri arttıkça büyümüyorlar. Örneğin, Corot-3b, Jüpiter'in 22 katı kadar ağır ama gazlı içeriğini bir arada tutan kütleçekimi nedeniyle aşağı yukarı aynı büyüklükte bir süper-Jüpiter'dir. Astronomlar Corot-3b'nin yoğunluğunun altının, hatta Dünya'daki en yoğun element olan osmiyumun yoğunluğundan fazla olduğunu hesapladılar.

Burada bir sanatçının yorumuyla gösterilen "süper-Jüpiter Kappa Andromedae b'nin, Jüpiter'in 13 katı bir kütlesi vardır. Kırmızımsı bir rengi vardır ve kahverengi cüce olarak yeniden sınıflandırılabilir.



> Kayaç gezegenli kırmızı cüceler, Evren'de yaygın olabilir.
>
> **Phil Muirhead**
> ***Boston Üniversitesi Astronomi Profesörü***

Kahverengi cüceler ve serseriler

Bir süper-Jüpiter 60 Jüpiter kütlesine ulaştığı zaman, artık bir gezegen değil, bir kahverengi cüce sayılır. Kahverengi cüce, özünde başarısız olmuş bir yıldızdır –nükleer füzyonla yanamayacak kadar küçük bir gaz topudur. Kahverengi cüce ve yıldızı, bir gezegen sistemi olarak değil, bir çift yıldız sistemi olarak görülür. Bazı süper-Jüpiterler ve küçük kahverengi cüceler yıldızlarından kopup, serbest dolaşan serseri gezegen haline gelmiştir. MOA-2011-BLG-262 adlı birinin, bir uydusu olduğu düşünülüyor ve bir öte-uyduyla birlikte bulunan ilk öte-gezegen olabilir.

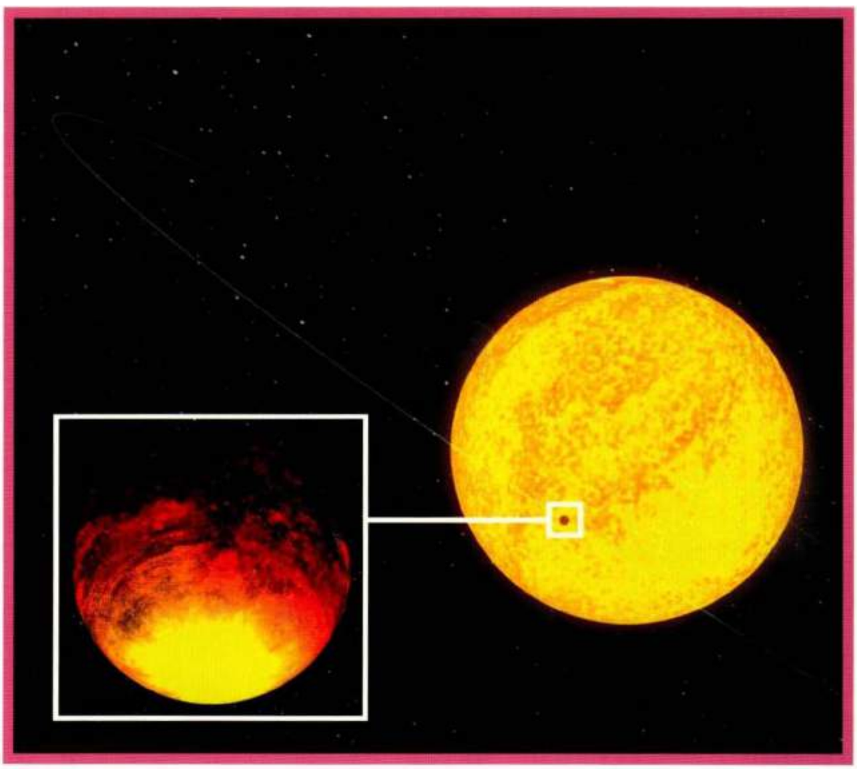
Başka bir gezegen sınıfına da Süper-Dünyalar denilir. Bunların kütlesi Dünya'nın 10 katıdır ama Neptün gibi bir buz devinden daha azdır. Süper-Dünyalar kayaç değil, gaz ve buzdan oluşmuştur; bunların alternatif adları, mini-Neptünler ya da gaz cücelerdir.

Canlı gezegenler

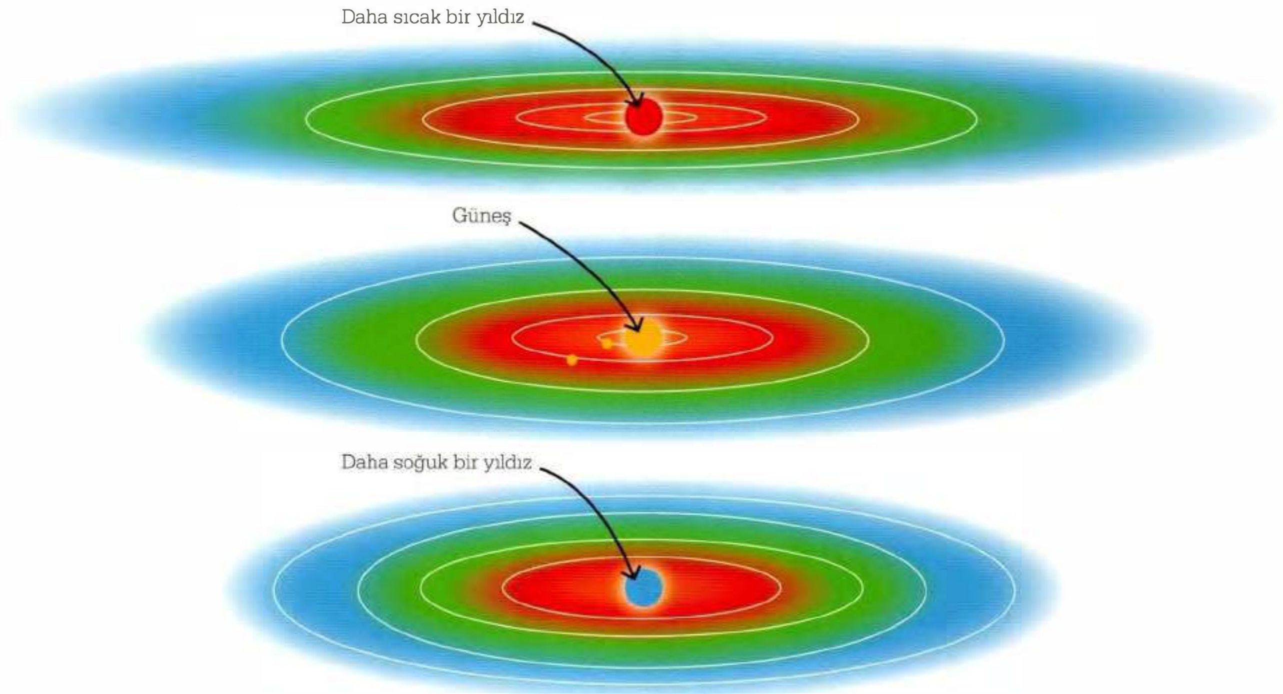
Dünya'nın Güneş Sistemi, en büyüğü Dünya olmak üzere karasal gezegenlere (kayaç yüzeyli gezegenler) sahiptir. Şimdiye kadar öte-gezegen arayışları çok sayıda karasal gezegen bulma mücadelesi verdi; çünkü bunlar genellikle küçüktür ve gezegen dedektörlerinin hassasiyetinin ötesindedirler. İlk doğrulanmış karasal öte-gezegen Kepler-10b'ydi; kütlesi Dünya'nın üç katıdır ve yıldızına o kadar yakındır ki, yörünge dönüşünü bir Dünya gününde tamamlar ve demiri eritecek bir yüzey sıcaklığı vardır. Burada yaşam hiç olası görünmüyor ama daha konuksever olabilecek kayaç gezegen avı devam etmektedir.

Astrobiyologlar –uzayda yaşam arayan bilim insanları– her yaşamın ihtiyaç duyduğu belirli koşullara odaklanır. Bakılacak olası yerleri seçerken, uzaylı yaşam formlarının, Dünya'da olduğu gibi sıvı su ve karbon-bazlı kimyasallar gerektireceğini varsayıyorlar. Canlı gezegenler, yüzeyi zararlı kozmik ışınlardan koruyacak ve geceleri gezegenin ısısının bir kısmını koruyan bir battaniye gibi işlev görecek bir atmosfere de ihtiyaç duyardı.

Bir yıldızın etrafında gezegenlerin sıvı suya, karbon kimyasına ve bir atmosfere sahip olmasına izin veren bölge, o yıldızın yaşanabilir bölgesi olarak bilinir; buna "Goldilocks bölgesi" de denilir –masaldaki Yavru Ayının lapası gibi, "ne çok sıcak, ne de çok soğuk." Yaşanabilir bölgelerin büyüklüğü ve yeri, ev sahibi yıldızın etkinliğine bağlıdır. Örneğin Dünya K-tipi bir yıldızın, Güneş'ten epeyce daha soğuk olan bir turuncu cücenin (Güneş G-tipi yıldızdır ya da sarı cücedir) yörüngesinde dönseydi, aynı miktarda sıcaklık alması için şimdiki uzaklığının yaklaşık üçte biri mesafede dönmesi gerekirdi.



Ejderha takımyıldızında Kepler 10b, bir sanatçının izlenimiyle, kendi yıldızından geçiş yaparken gösteriliyor. Aşırı sıcak yüzey ısısı ve baş döndürücü yörüngesi, orada yaşamın olanaksız olduğu anlamına gelir.



Yaşanabilir bölgenin (yeşil) büyüklüğü yıldızın büyüklüğüne bağlıdır. Kırmızı bölge çok sıcaktır, mavi bölgeyse çok soğuktur. Yaşanabilir bölge soğuk yıldızlara, sıcak yıldızlara olduğunda daha yakındır. Bir gezegenin büyüklüğü, yörüngesinin şekli ve gece ile gündüz arasındaki dönüş hızı da yaşanabilirliğini etkiler.

Tanımlanan binlerce öte-gezegenin yalnızca küçük bir oranı, kendi yıldızının Dünya'dakine benzer yaşam koşullarına –sıvı sulu kayaç yüzey– sahip yaşanabilir bölgelerinde dönmeye adaydır. Tipik olarak Dünya'dan büyüktürler ve çok azının Dünya gibi olma ihtimali vardır. Dünya'ya benzer gezegenler bulunursa ve bulunduğu zaman, astrobiyologlar yaşamın işaretleri olarak, fotosentez yapan yaşam formlarının ürettiği yüksek oksijen düzeylerinin varlığı gibi atmosfer kimyasına bakacaktır. Dünya'da cansız malzemeden yaşamın nasıl geliştiği hâlâ bir sırdır ama Dünya'ya benzer gezegenlerin incelenmesi o sürece ışık tutabilir. Yaşam bulunsa bile, pek çok dünya-dışı doğa tarihinin mikro-organizmaların ötesine geçmemiş olması olasıdır. Daha karmaşık yaşam formlarının gelişimi yönünde her adım giderek daha az olası hale geldiği gibi, insanoğlununkine denk uzay uygarlıkları da daha az yaygın olacaktır. Bununla birlikte, yalnızca Güneş gibi G-tipi yıldızlar sayılırsa, galakside 50 milyar kadar vardır. Bunların yüzde 22'sinin yaşanabilir bölgesinde Dünya'ya benzer bir gezegeni vardır; bu, 11 milyar olası Dünya demektir. Turuncu ve kırmızı cüce gibi diğer yıldız tipleri de eklenirse, sayı 40 milyara çıkar. Uygarlıkların gelişme olasılığı milyarda bir olsa bile, büyük olasılıkla insanoğlu yalnız değildir. ■

> Çalışmaya devam eder ve coşkumuzu sürdürürsek diğer gezegenlerde yaşam sorunu çözülecektir.
> **Didier Queloz**



EN İDDİALI EVREN HARİTASI

GÖKYÜZÜNÜN DİJİTAL BİR GÖRÜNÜMÜ

KISACA

ASTRONOM
Donald York (1944–)

ÖNCE
1929 Edwin Hubble Evren'in genişlediğini kanıtlar.

1963 Maarten Schmidt, genç galaksi oldukları anlaşılan yıldızsı nesneleri ya da kuasarları keşfeder.

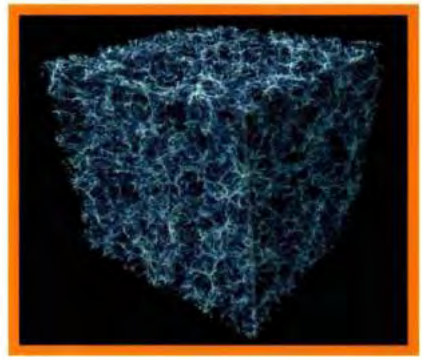
1999 Saul Perlmutter, Brian Schmidt ve Adam Riess, "kara enerjinin" gizemli etkileri nedeniyle Evren'in genişlemesinin arttığını gösterir.

SONRA
2004 Büyük Patlamadan sonra oluşan ilk yıldızları görmek için kızılaltı ışık kullanacak James Webb Teleskobunun yapımına başlanır.

2014 Parçalı ana aynası 39 metre ve şimdiye kadarki en hassas optik teleskop olacak European Extremely Large Teleskobuna onay verilir.

Gökyüzünün bir alan kılavuzunu" çıkarmak için kurulan Sloan Dijital Gökyüzü Araştırması (Sloan Digital Sky Survey – SDSS) 1998'de çalışmaya başladı. İddialı amaç, muazzam ölçekte bir Evren haritası yapmaktı –yalnızca bir gökküredeki nesnelerin haritasını, derin uzayın büyük bir bölümünün üç boyutlu bir modelini çıkarmak. Proje başlangıçta ABD'li astronom Donald York yönetimindeydi ama şimdi, 25 kurumdan 300 astronomun ortak çalışmasıdır. SDSS, New Mexico'da Apache Point'te 2,5 metrelik bir teleskop kullanır. Teleskobun geniş açılı kameraları, kuzey yarımkürede görülebilen nesneleri sayısallaştırdı.

Görünür 500 milyon nesneden, en parlak 800.000 galaksi ve 100.000 kuasar seçildi, büyüklükleri ve gökyüzündeki konumları, yüzlerce alüminyum diske açılmış delik olarak aktarıldı. Bir disk teleskopa takılınca, istenmeyen ışığı engeller ve hedef galaksiden gelen ışığı kendi özel optik lifine ve bir spektroskopa aktarır. Bu doğru galaksi tayflarından, astronomlar her bir galaksinin ne kadar uzak olduğunu çıkarabilir. Veri toplamaya 2000'de başlandı ve 2020'ye kadar devam etmesi bekleniyor. Şimdiye kadar toplanan bilgi, galaksilerin kümeler ve süper-kümeler, hatta galaksi "duvarları" –milyonlarca galaksi içeren, arada büyük boşluklar bulunan karışık bir kozmik ağ oluşturan muazzam yapılar– halinde olduklarını ortaya çıkardı. ■



SDSS gök haritasının küp bölümü, uzayda maddenin karışık dağılımını gösterir. Işık düğümleri birbirine bağlı galaksilerdir.

Ayrıca bakınız: Samanyolu'nun ötesi 172-77 ▪ Kuasarlar ve kara delikler 218-21 ▪ Uzak yıldızları incelemek 304-05 ▪ Uzayın daha ilerisine bakmak 326-27



GALAKSİMİZİN MERKEZİNDE DEVASA BİR KARA DELİK VARDIR

SAMANYOLU'NUN KALBİ

KISACA

ASTRONOM
Andrea Ghez (1965–)

ÖNCE
1971 İngiliz astronomlar Martin Rees ve Donald Lynden-Bell, Yay A'dan yayılan radyo dalgalarının bir kara delik tarafından üretildiğini öne sürer.

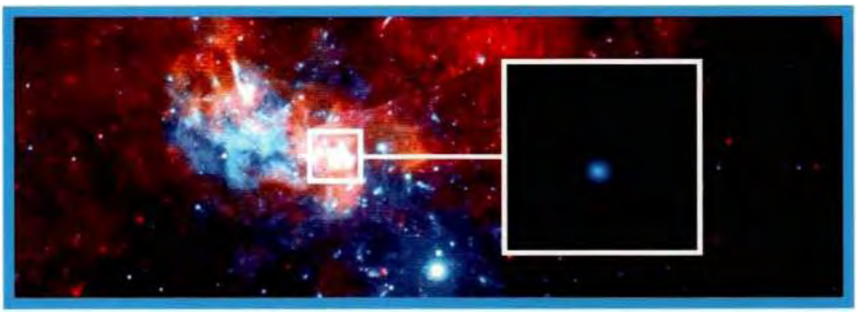
SONRA
2004 Yay A*'nın etrafındaki yörüngede küçük bir kara delik keşfedilir.

2013 Chandra X-ışını Gözlemevi, Yay A*'dan rekor kıran bir X-ışını ışıması görür; olasılıkla kara deliğe giren bir asteroid neden olmuştur.

2016 LIGO deneyi kütleçekim dalgalarını ilk kez saptar, iki kara deliğin birleşme anını yakalar.

1935'te Karl Jansky, Samanyolu'nun merkezinde Yay A (Sagittarius A [Sgr A]) adı verilen bir radyo dalgaları kaynağı buldu. Kozmik tozun ışık teleskoplarından gizlediği radyo dalgaları, birçok kaynaktan yayılmaktaydı. 1974'te radyo teleskopları, Yay A* (Sagittarius A* [Sgr A*]) adı verilen en yoğun kaynağı saptadı. Küçüktü ve yoğun X-ışını üretmekteydi; galaksinin kalbindeki maddenin devasa bir kara delik tarafından parçalanmakta olduğunu, bu süreçte X-ışını yaydığını gösteriyordu. Ne var ki, UCLA'da astronom Andrea Ghez kızılaltı ışık kullanarak tozun içinden yıldızları gözlemleme yöntemini kullanana kadar, bu bir varsayım olarak kaldı. 1980'de Hawaii'deki Keck Gözlemevi, galaksi merkezine yakın yörüngede dönen yıldızların hızını ölçmeye başladı. Bu veriler, Yay A* içindeki görünmez nesnenin kütlesini hesaplamayı olanaklı kıldı. Ghez'in ekibi, Yay A*'ya en yakın yıldızların ışık hızının dörtte biri hızla döndüklerini buldu. Böyle bir hız çok büyük bir kütleçekimi varlığını göstermekteydi: Güneş'ten 4 milyon kat ağır bir kara delik; galaksi gençken yıldızları ve diğer kara delikleri yutmuş olmalı. ■

Bir X-ışını parlaması, Samanyolu'nun kalbindeki kara delikten fışkırır. Bu keşif, bütün galaksilerin merkezinde kara delik olabileceğini gösterir.



Ayrıca bakınız: Radyo astronomi 179 ▪ Kara delikleri keşfetmek 254 ▪ Uzay yıldızları incelemek 304-05

KOZMİK GENİŞLEME HIZLANIYOR

KARA ENERJİ



KISACA

ASTRONOMLAR
Saul Perlmutter (1959–)
Brian Schmidt (1967–)
Adam Riess (1969–)

ÖNCE
1917 Albert Einstein, Evren'i statik tutmak için alan hesaplamalarına kozmolojik bir sabit ekler.

1927 Georges Lemaître Evren'in statik değil dinamik olabileceğini öne sürer.

1928 Edwin Hubble kozmik genişlemenin kanıtlarını bulur.

1948 Fred Hoyle, Hermann Bondi ve Thomas Gold, genişleyen Evren'e ilişkin durağan hal teorisini önerir.

SONRA
2013 Kara enerji Araştırması Evren'in haritasını çıkarmaya başlar.

2016 Hubble Uzay Teleskobu, kozmik hızlanmanın başlangıçta ölçülenden yüzde 9 daha hızlı olduğunu gösterir.

Büyük Patlama teorisini kalbinde basit bir düşünce vardır: Evren çok küçük başladı ve sonra genişledi. 1998'de iki bilim ekibi, Evren'in genişlemesinin kendi başına hızlandığını keşfetti. Bu keşif, astronomların doğrudan saptayabildikleri şeyin, Evren'deki toplam kütlenin ve enerjinin yalnızca yüzde 5'ini oluşturduğunu ortaya çıkardı. Görünmez kara madde de yüzde 24'ünü oluşturuyordu; geri kalan ise, basitçe kara enerji olarak bilinen gizemli bir fenomendir. 2011'de üç Amerikalı, Saul Perlmutter, Brian Schmidt ve Adam Riess, bu keşiften ötürü Nobel Fizik Ödülünü kazandı.

> Gerçekte her yerdedir. Galaksilerin arasındadır. Bu odadadır. Uzayın olduğu her yerde, boş uzayda, bu kara enerjinin bir kısmından kaçınamadığınıza inanıyoruz.
> **Adam Riess**

Genişleyen uzay

Georges Lemaître'in makalesinin Büyük Patlama varsayımını öne sürdüğü yılın ertesinde, Edwin Hubble, galaksilerin Dünya'dan uzaklaştığını –ve daha uzak olanların daha hızlı uzaklaştığını– gösterecek genişleyen Evren'in kanıtlarını buldu. Bunlar uzayda birbirinden uzaklaşan basit nesneler değildi; uzayın kendisi büyüyor ve kendisiyle birlikte maddeyi de hareket ettiriyordu. Galaksiler yalnızca Dünya'dan uzaklaşmakla kalmıyorlar; aynı anda her yerden uzaklaşıp genişliyor.

Daha iyi resim

Sonraki gözlemler genişleyen Evren'in tarihini anlatmaya yardımcı oldu. 1964'te, Büyük Patlamadan kalan soğuk bir parıltı olan kozmik mikrodalga ardalanın (CMB) keşfi, Evren'in yaklaşık 13,8 milyar yıldır genişlemekte olduğunu gösterdi. O günden beri Evren'in büyük ölçekli yapısına ilişkin araştırmalar, büyük boşlukların etrafında mil-

Evren'in **genişlemesinin** kütleçekim kuvveti nedeniyle **yavaşlayacağı** varsayılır.

Bu yavaşlamayı ölçmek, Evren'in **nihai kaderini** açığa çıkaracaktır.

Ne var ki, ölçülünce, kozmik genişlemenin hızlandığı görülür.

Bu hızlanma, daha önce bilinmeyen, **kütleçekime karşı etkili olan** ve **kara enerji** denilen bir **kuvvetten** kaynaklanıyor olmalı.

Ayrıca bakınız: Kütleçekim teorisi 146-53 ▪ Sarmal galaksiler 156-61 ▪ Evren'in doğuşu 168-71 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172-77 ▪ Büyük Patlama arayışı 222-27 ▪ Kara madde 268-71 ▪ Kızıla kayma araştırmaları 274-75

yarlarca galaksinin kümelendiğini ortaya çıkardı (s. 296). Bu yapı, CMB'de, gözlemlenebilir maddenin –yıldızlar ve galaksiler– boş uzayın aykırı bölgelerinde nasıl ortaya çıktığını gösteren küçük dalgacıklara karşılık gelir. Bununla birlikte, Evren'in geleceği belli değildi. Sonsuza kadar genişleyecek miydi yoksa bir gün kendi kütleçekiminin ağırlığı altında çökecek miydi, bilinmiyordu.

Yavaşlayan Evren

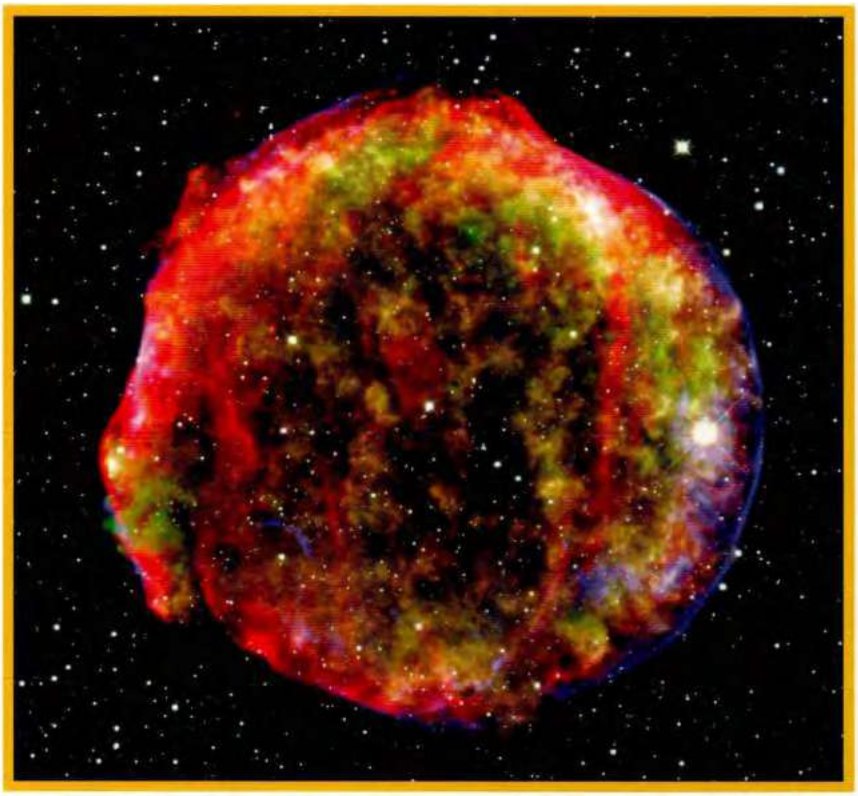
20. yüzyıl boyunca kozmologlar, genişleme hızının yavaşladığını varsaydı. Başlangıçta hızlı bir genişlemeden sonra, kütleçekim yavaşlatmaya başlayacaktı. İki ana olasılık var gibi görünüyordu. Eğer Evren yeterince ağırsa, kütleçekim genişlemeyi yavaşlatıp durduracak ve bir tür tersine Büyük Patlamayla, dehşet verici bir Büyük Çöküşle maddeyi tekrar geri çekmeye başlayacaktı. İkinci olasılıkta, Evren genişlemeyi durduramayacak kadar hafifti; bu nedenle giderek yavaşlamakla birlikte sonsuza kadar genişlemeye devam edecekti. Bu süreç, ısıl-dengeyle sonuçlanacaktı; bu durumda Evren'in maddesi parçalanıp, sonsuz ölçüde saçılacak ve her türlü etkileşimi bırakacaktı. Evren'in genişlemesinin yavaşlamasına ilişkin bir ölçüm, Evren'in hangi olası geleceğe doğru gittiğini astronomlara anlatacaktı.

1990'ların ortasında iki program, Evren'in genişleme hızını ölçmekteydi. Süpernova Kozmoloji Projesinin başında, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarında Saul Perlmutter vardı; Avustralya Ulusal Üniversitesi'nde konuşlanan Brian Schmidt ise, Yüksek-Z Süpernova Araştırma Ekibinin başındaydı. Uzay Teleskobu Bilimi Enstitüsünden Adam Riess, ikinci projenin başyazarıydı. Proje liderleri birleşmeyi düşündü ama nasıl yol alınacağı konusunda farklı düşünceleri vardı; bu yüzden sağlıklı bir çekişmeyi tercih ettiler.

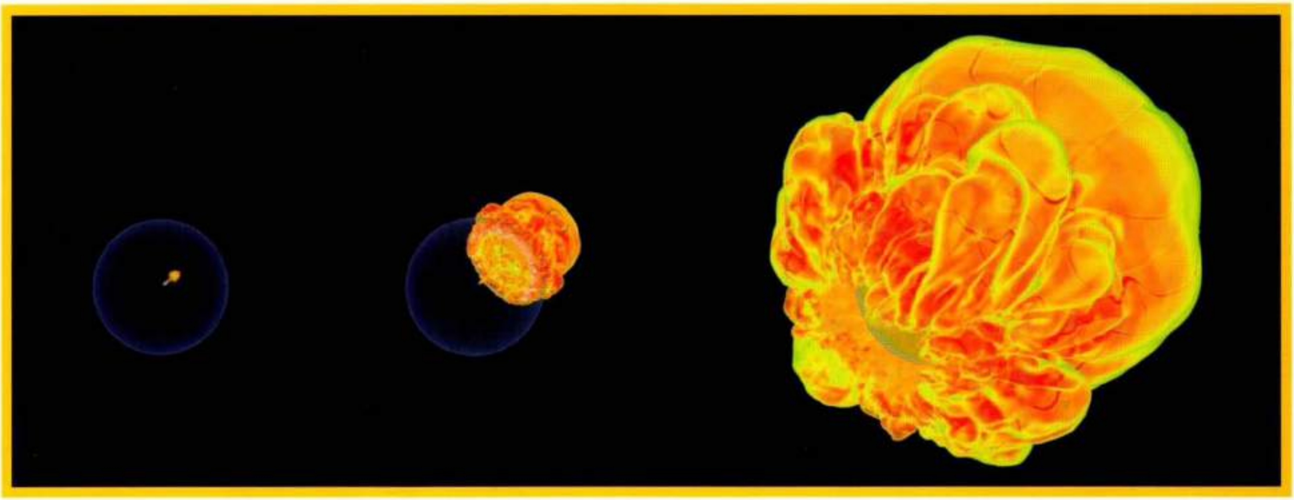
Her iki proje de, 1989 ile 1995 arasında Şili'de yürütülen Calán/Solodo Süpernova Araştırmasının yaptığı bir keşfi kullanıyordu. Araştırma, tip 1a süpernovaların uzayda uzaklıkları ölçmek için kullanabilen nesne ya da standart mum olarak kullanılabildiğini buldu. Standart mum, parlaklığı bilinen bir nesnedir ve dolayısıyla görünür kadri (Dünya'dan görülen parlaklık) onun ne kadar uzak olduğunu gösterir.

> Kara enerjinin ne olduğuna şaşırıyorsanız, yalnız değilsiniz.
> **Saul Perlmutter**

Tip 1a süpernova, yakıtı biten büyük yıldızlar patlayınca oluşan



Chandra X-ışını Gözlemevi, Cassiopeia (Koltuk) takımyıldızında tip 1a sopernova SN 1572'nin kalıntısının bu görüntüsünü çekti. Tycho Brahe tarafından gözlemlendiği için, Tycho novası olarak da bilinir.



standart bir süpernovadan biraz farklıdır. Tip 1a süpernova, iki yıldızın birbirinin yörüngesinde döndüğü bir çift yıldız sisteminde oluşur. İki yıldızdan biri dev yıldız, diğeri beyaz cücedir. Beyaz cücenin kütleçekimi, dev yıldızdan yıldız malzemesi çeker. Beyaz cüce büyüyüp 1,38 güneş kütlesi oluncaya kadar, yüzeyinde malzeme birikir. O noktada basınç ve sıcaklık öyle olur ki, kaçak bir nükleer füzyon patlaması yıldızı tutuşturup, Güneş'ten milyarlarca kat daha parlak bir nesne yaratır.

Uzaklık ve devinim

Her iki araştırma da, tip 1a süpernovalar bulmak için Şili'de Cerro Tololo Inter-Amerikan Gözlemevini kullandı. Plan, yalnızca süpernovaların konumlarını saptamak değildi. Her patlamanın kızıla kaymayı (tayfın uğradığı uzamayı) veren tayfını almak için Hawaii'deki Keck Teleskobunu kullandılar.

Her yıldızın parlaklığı ya da kadri, uzaklığı –çoğu kez milyarlarca ışık yılı– verirken, kızıla kayması Dünya'ya göre hızına, Evren'in genişlemesinin neden olduğu göreli hızına işaret etmekteydi. Ekipler, genişlemenin hangi oranda değiştiğini ölçmeyi amaçlıyordu. Daha uzak nesnelerin işaret ettiği şekliyle genişleme oranının yavaşlaması bekleniyordu. Yavaşlamayı tam olarak ne kadar hızlı yaptığı, Evren'in "ağır" mı yoksa "hafif" mi olduğunu gösterecekti. Ne var ki, ekipler 5 milyar ışık yılının ötesine bakınca (yani beş milyar yıl geçmişe bakıyorlardı), tam tersinin gerçekleştiğini gördü –Evren'in genişlemesi yavaşlamıyor, hızlanıyordu.

Bir bilgisayar simülasyonu, tip 1a süpernovasında patlayan bir beyaz cüce yıldızı gösteriyor. Yıldızın içinde bir alev balonu oluşur (solda), yüzeye çıkar (ortada) ve yıldızı sarar (sağda).

Kara enerji Araştırması



2013'te kara enerji Araştırması, Evren'in genişlemesinin ayrıntılı bir haritasını çıkarmak için beş yıllık bir proje başlattı. Proje, Şili'de Cerro Tololo İnter-Amerikan Gözlemevindeki kara enerji Kamerasını (solda) kullanıyor. Kamera, dünyanın en geniş görüş alanlarından birine sahiptir. Proje, tip 1a süpernovalar aramanın yanı sıra, baryon akustik titreşimlerini de arıyor. Bunlar, normal madde dağılımında yaklaşık 490 milyon yıl aralıklarla gerçekleşen düzenli dalgacıklardır; kozmik genişlemeyi göstermek için "standart cetvel" olarak kullanılabilir.

Kara enerji

Bu sonucun önce bir hata olduğu sanıldı ama peş peşe yapılan kontroller, öyle olmadığını gösterdi –iki ekip de aynı şeyi buldu. 1998'de Perlmutter ve Schmidt bulgularını kamuoyuyla paylaştı. Sonuçlar bilim dünyasını sarstı. Einstein'ın genel görelilik için alan denklemlerini kullanan Adam Riess, sonuçların Evren'e negatif bir kütle veriyor gibi göründüğünü bulmuştu. Başka bir deyişle, anlaşılan, bir tür kar-

şı-çekim kuvveti maddeyi bir tarafa çekiyordu. Bu enerji kaynağına, tam bir sır olduğu için, kara enerji adı verildi.

2016'da yeni gözlemler kullanılıp, Evren'in genişleme hızı için daha doğru ve biraz daha hızlı bir rakam hesaplandı. Kara enerji Evren'i itip ayırmaya devam ederse (yapmıyor olabilir, kimse aslını bilmiyor), galaksileri birbirinden ayırıp yayacak; öyle ki, sonunda Dünya'dan (kendisi de artık var olmayacak) görünmeyecek kadar uzaklaşmış olurlar. Nihayetinde, Samanyolu içindeki yıldızları gökyüzü kararana kadar dağıtabilir. Güneş Sistemindeki Güneş ve gezegenler dağılacak ve sonunda atomlardaki parçacıklar saçılıp, Büyük Yırtılma denilen bir ısıl-denge biçimiyle sonuçlanacaktır.

Einstein'ın hatasını canlandırmak

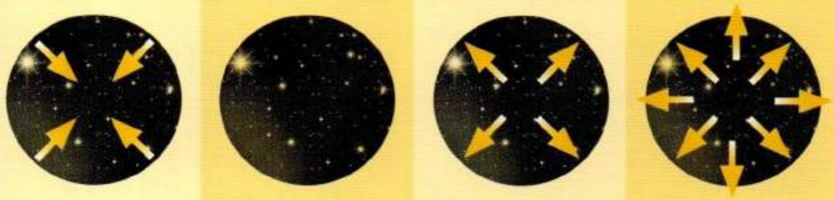
Kara enerji, Evren'in kozmologların düşündüğü kadar homojen olmadığına ve görülen açık hızlanmanın, diğer yerlerdekinden daha az madde bulunan bir bölgenin içinde olmasından kaynaklandığına işaret edebilir. Einstein'ın kütleçekim teorisinin en büyük ölçeklerde yanlış olduğunu gösteriyor da olabilir. Diğer yanda kara enerji, Einstein'ın 1917'de yarattığı ve kozmolojik sabit denilen matematiksel bir aygıtla açıklanabilir. Einstein bunu, kütleçekimi dengeleyecek ve Evren'i statik, değişmeyen bir yer yapacak bir değer olarak kullandı. Ne var ki, Lemaître Einstein'ın denklemlerini kullanıp, Evren'in ancak dinamik –genişliyor ya da büzülüyor– olabileceğini gösterince, Einstein, sabiti teorilerinden çıkardı ve bir hata olduğunu söyledi.

Einstein'ın kozmolojik sabitinin değeri, bir boşlukta –boş uzayda– içerilen enerjiye denk olacak şekilde ayarlanır. Bu değerin sıfır olduğu varsayıldı. Ne var ki, kuantum teorisine göre bir boşluk bile, bir Planck zamanı (10^{-43} saniye, olası en küçük zaman miktarı) boyunca var olan ve ardından tekrar kaybolan "sanal" parçacıklar içerir. Kara enerji bu düşünceye uygun olabilir –bu sanal parçacıklardan doğan, uzayı çekip birbirinden ayıran ve kozmolojik sabit için sıfır olmayan bir değeri temsil eden bir enerji biçimi.

> Bu keşif, Evren'i söküp ayıran meçhul bir enerji biçiminin var olduğuna inanmamıza yol açtı.
> **Brian Schmidt**

Genişleme her zaman hızlanmıyordu. Kütleçekimi ve diğer kuvvetlerin maddeyi birbirine doğru çektiği ve kara enerjiden daha güçlü olduğu bir zaman vardı. Ne var ki, Evren yeterince büyük ve boş olunca, kara enerjinin etkileri hakim olmuş gibi görünüyor. Belki gelecekte farklı bir kuvvet egemen olur ya da kara enerji büyümeye devam edebilir. Bir öneriye göre, Büyük Yırtılma o kadar güçlü olur ki, kara enerji bizzat uzayzamanı yırtıp, bir tekillik yaratacaktır –bir sonraki Büyük Patlama. ■

Dört olası gelecek



Evren'in ortalama yoğunluğu belli bir kritik değerin üzerindeyse, kapalı olacak ve Büyük Çöküşle son bulacaktır. Kritik değerin, metreküp başına beş protona eşdeğer olduğu hesaplanır.

Yoğunluk kritik yoğunluğa eşitse, Evren'in geometrisi düz olacak ve Evren gelecekte de var olmaya devam edecek, ne genişleyecek ne de daralacaktır.

Yoğunluk kritik değerin altındaysa, Evren açık olacak ve sonsuza kadar genişleyecek, sonunda bir ısıl-dengeyle son bulacak.

Gözlemler, Evren'in genişlemesinin gizemli "kara enerji" nedeniyle hızlandığını gösteriyor. Ölçülen yoğunluk, kritik yoğunluğa çok yakındır ama kara enerji genişlemeyi hızlandırıyor.



13,5 MİLYAR YIL GERİYE BAKMAK

UZAK YILDIZLARI İNCELEMEK

KISACA

ÖNEMLİ GELİŞME
James Webb Uzay Teleskobu (2002–)

ÖNCE
1935 Karl Jansky, Evren'i incelemek için ışık dışında ışınımın da kullanılabileceğini gösterir.

1946 Lyman Spitzer Jr, atmosferik girişimlerden sakınmak için uzaya teleskop yerleştirmeyi önerir.

1998 Sloan Dijital Gökyüzü Araştırması, galaksilerin üç boyutlu haritasını çıkarmaya başlar.

SONRA
2003 Kızılaltı bir gözlemevi olan Spitzer Uzay Teleskobu fırlatılır.

2014 Avrupa Aşırı Büyük Teleskobu projesi onaylanır; ana aynasının çapı 39 metredir.

2016 LIGO, JWUT'dan daha uzağa bakmanın olası bir aracını gösteren kütleçekim dalgalarının keşfedildiğini duyurur.



Bir sanatçının uzayda JWUT izlenimi, teleskobun altında açılan güneş kalkanını gösteriyor. Berilyum ayna, optimal yansıma için altınla kaplıdır.

James Webb Uzay Teleskobu (JWUT) uzaydaki en güçlü astronomi aleti olacak, Hubble Uzay Teleskobundan bile daha uzağı görebilecek şekilde tasarlandı. Adını 2002'de NASA'nın Apollo programından sorumlu müdüründen alan JWUT, 6,5 metre genişliğinde altın kaplama bir aynayla donatılan kızılaltı bir teleskoptur. Bu ayna, 13,5 milyar ışık yılı uzağı –Evren'in ilk yıldızlarının oluştuğu zamanı– görmesini olanaklı kılacaktır.

1995'te Hubble'ın ardılı olarak tasarlanan JWUT'in tamamlanması uzun sürdü, birçok teknik engelle karşılaşıldı. 2018'de fırlatıldığında, L2 (Lagrange noktası 2) etrafında, Güneş'ten uzak, Dünya'nın yörüngesinin 1,5 milyon kilometre ötesinde bir yerde sıkı bir yörüngeye oturacak. L2, uzayda Güneş'in ve Dünya'nın kütleçekiminin birlikte çalı-

Ayrıca bakınız: Radyo astronomi 179 ▪ Uzay teleskopları 188-95 ▪ Gökyüzünün dijital bir görünümü 296 ▪ Kütleçekim dalgaları 328-31 ▪ Lagrange (Rehber) 336

İlk yıldızlardan gelen ışık, genişleyen uzayda parıldıyor.

Genişleme ışığı **kızılaltı dalga boylarına** uzatmıştır. → Kızılaltı, Dünya yüzeyinden **büyük ölçüde görünmez.** → İlk yıldızları görmek için dev bir **kızılaltı teleskop uzaya gönderilmelidir.**

şıp, Güneş'in etrafında yörüngede dönen bir nesneyi Dünya'yla aynı oranda çektiği, yörünge dönüşünü bir yılda yapmasını sağladığı yerdir. Yani, JWUT büyük ölçüde Dünya'nın gölgesinde olacak; bu durum Güneş'ten gelen ısı kirliliğini önleyecek ve teleskobun derin uzayda çok soluk kızılaltı kaynakları saptamasını olanaklı kılacaktır. NASA, teleskobun Ay'daki bir yabanarısının ısısını saptayabildiğini iddia ediyor.

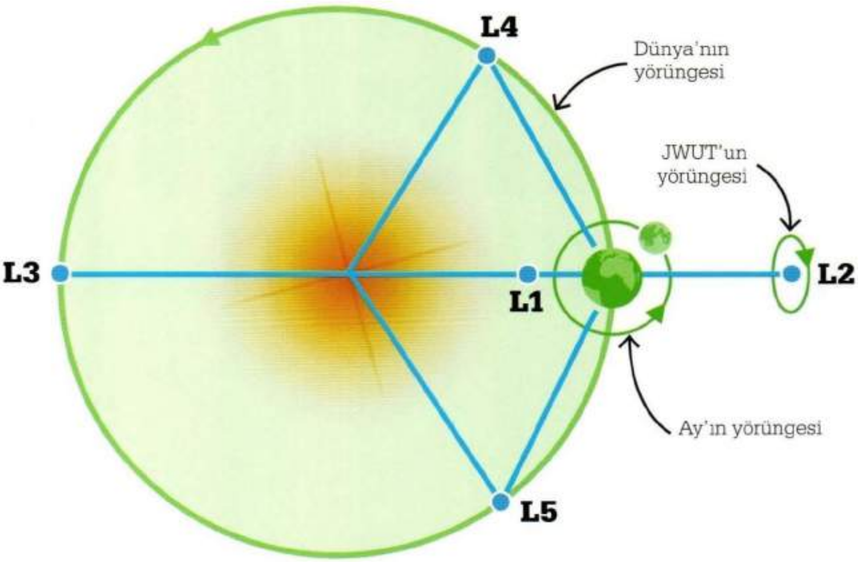
Isı arayıcı

JWUT'un geniş ana aynası, Hubble'ın alanının yedi katıdır ve ayna, perdahlı cam yerine, maksimum yansıtma için berilyumdan yapılmış 18 altıgen birim içerir. 25 m^2 ayna düz fırlatılamayacak kadar büyüktür; bu yüzden yörünge oturduktan sonra açılacak şekilde tasarlanmıştır.

Teleskobun dedektörleri, en uzak yıldızların soluk ısı imzalarını toplamak için, her zaman son derece soğuk olmalıdır –hiçbir zaman -223 ^{0}C'den fazla olmamalı. Bunun için JWUT'un, tenis kortu büyüklüğünde bir ısı kalkanı vardır. Yine bu kalkan da, fırlatma için katlıdır. Işığın ve ısının çok büyük bölümünü yansıtan beş kat parlak plastikten yapılmıştır. Üst kata sızan ısı, birbirini izleyen katmanlar tarafından yanlara saçılır; böylece teleskopa hiçbir şey ulaşmaz.

İlk ışık

Oluşacak ilk yıldızlardan gelen ışık dalgaları, genişleyen Evren'de parıldarken uzamıştır, görünür ışıktan kızılaltı ışığa dönüşmüştür; bu yüzden, JWUT'un öncelikli gözlem hedefidir. Kızılaltı gökyüzü üzerindeki bu ultra-hassas gözün, üç ana amacı daha vardır. Galaksilerin milyarlarca yıl içinde nasıl oluştuklarını araştıracak, yıldızların ve gezegenlerin doğuşunu inceleyecek ve Güneş Sistemi dışındaki gezegenlerle ilgili veri sunacaktır. NASA, teleskobun en az 10 yıl çalışacağını umuyor. ■



JWUT tam olarak L2 noktasında olmayacak ama halka bir yörüngede o noktanın etrafında dönecek. Lagrange noktaları, iki büyük cismin yörüngesinde küçük bir nesnenin, o iki büyük cisme göre kararlı bir konumu koruyabildiği konumlardır. Dünya'nın ve Güneş'in yörünge düzleminde beş L noktası vardır.

GÖREVİMİZ BİR KUYRUKLUYILDIZA İNMEKTİR

KUYRUKLUYILDIZLARI ANLAMAK



KISACA

ÖNEMLİ GELİŞME
ESA – Rosetta (2004)

ÖNCE
1986 ESA'nın Giotto'sunun başını çektiği sekiz uzay aracından oluşan Halley Filosu, Halley kuyrukluyıldızına ilişkin gözlemler yapar.

2005 Deep İmpact misyonu, yüzeyinde bir krater yaratmak ve altındakileri analiz etmek için Temple 1 kuyrukluyıldızına bir sondaj aracı ateşler.

2006 Stardust misyonu, Wild 2 kuyrukluyıldızının kuyruğundan kuyrukluyıldız tozu toplayıp Dünya'ya döner.

SONRA
2015 New Horizons Plüton''un yanından geçer ve Kuiper kuşağını araştırmaya başlar.

2016 NASA'nın uzay aracı OSIRIS-REx, 101955 Bennu asteroidinden örnek alıp dönme misyonuyla fırlatılır.

Kuyrukluyıldızları incelemekle astronomlar, erken Güneş Sistemiyle, Dünya'nın oluşumuyla, hatta yaşamın kökeniyle ilgili sorulara yeni ışık tutmayı umuyorlar.

Dünya, yüzeyinde bir sıvı su okyanusu bulunduğu bilinen tek gezegendir. Bu suyun kökeni, Dünya biliminin kalıcı sırlarından biridir. Önde gelen bir teoriye göre, sıcak genç gezegen terleyip kayalarındaki suyu dışarı çıkardı, atmosfere su buharı saldı. Gezegen yeterince soğuyunca, bu buhar yoğunlaştı ve okyanusları dolduran şiddetli yağmur olarak yağdı. Başka bir teoriye göre, suyun en azından bir kısmı uzaydan geldi, özellikle varoluşunun ilk 500 milyon yılında dünyaya yağan ve çarpma üzerine buharlaşan yüz binlerce buzlu kuyruklu yıldızla geldi.

1986'da ESA'nın Giotto'sunun başını çektiği bir uzay aracı filosu Halley kuyrukluyıldızının yanından geçerken, bir kuyrukluyıldızın çekirdeğine ilk kez yakından baktı. Halley karşılaşması, kuyrukluyıldızların büyük ölçüde organik toz ve kaya topaklarıyla karışık su buzundan oluştuğunun kesin kanıtını sağladı. Bu, Dünya'nın okyanuslarının buradan geldiğini öne süren teoriyi canlandırdı. Yaşamın kökeniyle ilgili bir teoriye göre, aminoasit ve nükleik asit gibi, yaşam için zorunlu karmaşık kimyasal yapı taşları uzaydan Dünya'ya geldi. Belki bu organik bileşikleri de kuyrukluyıldızlar Dünya'ya getirdi. Bunu anlamanın tek yolu, bir kuyruklu yıldıza uzay aracı gönderip yüzeyine indirmekti. 2004'te ESA'nın öncülüğünde Rosetta görev aracı, bunu yapmak üzere 10 yıllık bir yolculuğa çıkarıldı.

> Giotto, Avrupa'da gezegen bilimi topluluğunu tutuşturdu.
> **Gerhard Schwehm**
> ***Giotto Projesi bilim insanı***

Yeni hedef

Rosetta'nın niyet edilen hedefi 67P/Churyumov Kuyrukluyıldızıydı –kısaca Gerasimenko ya da 67P. 1959'da bu kuyrukluyıldız, Jüpiter'in kütleçekimine kapılmış, altı yıllık kısa bir Güneş yörüngesine çekilmişti. Ondan önce 67P Güneş'in etrafında çok daha uzaktan dönüyordu. Bu durum, Rosetta'da çalışan bilim insanlarını heyecanlandırdı; çünkü bir kuyrukluyıldızın kuyruğuna –en bilinen özelliği– çekirdeğin yüzeyini ısıtan ve milyonlarca kilometre uzunluğunda toz, gaz ve plazma akıntıları yaratan Güneş ışınımı neden olur. Kuyruktaki malzemeyi,



2005'te Deep Impact'in çarpma aygıtı Temple 1 kuyrukluyıldızıyla çarpışıp, kuyrukluyıldızın içinden molozlar saçtı. Analizler kuyrukluyıldızın beklenenden daha az buzlu olduğunu gösterdi.

Ayrıca bakınız: Oort bulutu 206 ▪ Kuyrukluyıldızların bileşimi 207 ▪ Kraterleri araştırmak 212 ▪ Neptün'ün ötesini araştırmak 286-87 ▪ Plüton'u incelemek 314-17



Bir sanatçının izlenimi, iniş aracı Philae'yi 67P kuyrukluyıldızının üstüne bırakan Rosetta'yı gösteriyor. İniş aracı konarken sekti, kuyrukluyıldızın bir lobundan fırlayıp diğer lobuna kondu.

Kuyrukluyıldızlar, **gezegenlerin oluşumundan** arta kalanlardır.

↓

Dünya'nın **suyu** ve yaşam için **gerekli kimyasallar** kuyrukluyıldızlardan gelmiş olabilir.

↓

Anlamak için, bir kuyrukluyıldıza inmeniz gerekir.

↓

İlk işaretlere göre, Dünya'nın suyu ve organik **kimyasalları kuyrukluyıldızlardan** gelmedi.

kuyrukluyıldız sonsuza dek kaybeder. 67P var olduğu sürece yalnızca beş on kez Güneş'e yakın olmuştu. Yani hâlâ "yeni"ydi, ilkel bileşimi bozulmamıştı.

Kalkışa hazır

Rosetta, ESA'nın Fransız Guyanası'ndaki uzay merkezinden bir Ariane 5 roketiyle fırlatıldı. Uzay aracının ağırlığı 3 tonun biraz altındaydı; merkezi gövdesi küçük bir kamyonet büyüklüğündeydi. Katlanan bir güneş paneli açılınca, görevi boyunca uzay aracına enerji sağlayacak 64m² fotovoltaik hücre sağlamaktaydı.

> Yalnızca bir kez konmadık – belki de iki kez konduk.
> **Stephan Ulamec**
> ***Philae iniş müdürü***

Rosetta'nın aletlerinin çoğu, yörüngedeyken kuyrukluyıldızı inceleyecek şekilde tasarlandı. Aletlerin arasında, kuyrukluyıldız yüzeyinin bileşimini ve 67P Güneş'e yaklaşıp ısınmaya başlayınca salınan gazları ve tozu incelemek için çeşitli spektroskoplar ve mikrodalga radarlar vardı. Araçtaki en önemli aletlerden biri, içinde ne olduğunu anlamak için kuyrukluyıldızdan bir radyo dalgaları demeti geçiren CONCERT'ti (Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission – Radyo Dalgası İletimiyle Kuyrukluyıldız Çekirdeğini Sondaj Deneyi). CONSERT, iniş aracı Philae'nin yardımıyla çalışacaktı. Philae yüzeye inince, Rosetta diğer tarafta yörüngedeyken gönderilen sinyalleri CONSERT'ten alacaktı. Philae güneş panelleriyle ve şarj edilebilir pillerle donatılmıştı; kuyrukluyıldızın yüzeyinde çalışıp kimyasını analiz edecek şekilde tasarlanmıştı.

Rosetta ve Philae adları, eski Mısır eserlerine işaret etmekteydi. Rosetta Taşının üç dilde bir kitabesi vardır: Hiyeroglif, Demotik Mısır yazısı ve eski Yunanca. 19. yüzyılın başlarında, bilim insanlarının hiyeroglif yazı sistemini çözmelerini, böylece birçok eski Mısır metninin anlamını ortaya çıkarmalarını ola-



Rosetta, 14 Temmuz 2015'te 67P/ Churyumov-Gerasimenko kuyrukluyıldızı Güneş'e en yakın noktaya yaklaşınca, 154 kilometreden bu görüntüyü aldı.

naklı kıldı. Philae, benzer biçimde kullanılan çok sayıda yazıtın olduğu bir dikilitaşa işaret eder. Kuyrukluyıldızlar Güneş Sisteminin oluşmasından kalan kalıntılardır; Rosetta ve Philae de, gezegenleri oluşturan ilk malzemeyle ilgili yeni bilgi ortaya çıkarmanın bir yolu olarak 67P kuyrukluyıldızına gönderildiği için, bu adlar tercih edildi.

Rosetta, 67P kuyrukluyıldızına giderken hem Dünya'dan hem de Mars'tan kütleçekim yardımı aldı. Gezegenleri dönerken, gezegenlerin kütleçekim alanı uzay aracını artan bir hızla ileriye fırlattı.

Kuyrukluyıldız gezintisi

Rosetta kuyrukluyıldıza giderken dolambaçlı bir yol izledi; kütleçekim yardımıyla hızlanmak için üç kez Dünya'nın ve bir kez Mars'ın yanından (atmosferinde yalnızca 250 kilometre kayan riskli bir manevra) geçti. Bu süreç beş yıl aldı ve ondan sonra Rosetta, asteroid kuşağından geçmeye (bazı asteroidlere çok yakından bakarak) ve Jüpiter'in yörüngesinin ötesine çıkmaya yetecek hıza ulaştı. Orada salınmaya başladı ve çok geçmeden büyük bir hızla 67P'ye yaklaşmaktaydı. Derin uzaya yolculuk için Rosetta'nın güç kaynağı enerji tasarrufu amacıyla kapatılmıştı ama tekrar açıldı ve planlandığı gibi Ağustos 2014'te kuyrukluyıldıza yaklaşırken Dünya'yla temas kurdu. Rosetta'yı kontrol edenler, Rosetta'ya uzayda zikzak yaptırmak ve hızını 775m/s'den 7,9 m/s'ye düşürmek için bir dizi itici roket yakmaya başladı. 10 Eylülde uzay aracı 67P'nin yörüngesine girip, hedef dünyaya ilk bakışı attı.

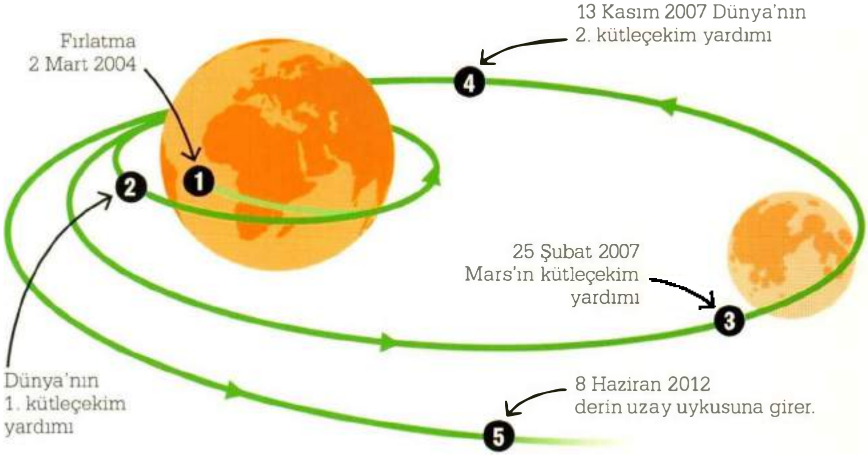
Sert iniş

67P kuyrukluyıldızının uzunluğu yaklaşık 4 kilometredir ve şeklinin beklenenden daha düzensiz olduğu anlaşıldı. Bazı görüş noktalarından kuyrukluyıldız, dar bir boyunla birbirine bağlanan biri diğerinden daha büyük iki loblu bir plastik ördeğe benziyor. (Kuyrukluyıldızın, düşük hızla çarpışan iki küçük nesneden oluştuğu varsayılır.) Yüzeyi büyük taş tarlalarıyla ve sırtlarla doluydu ve Rosetta ekibi, Philae'yi indirecek açık bir yer bulmaya çalıştı.

Kuyrukluyıldızın "başında" bir iniş bölgesi seçildi ve 12 Kasım 2014'te saat 8:35'te Philae, Rosetta'dan bırakıldı. Philae'nin yüzeye indiğini doğrulamak neredeyse sekiz saat sürdü –beklenenden çok uzun. İniş aracı yere yavaş –Dünya'da omuz seviyesinden bırakılan bir nesneden daha yavaş– inecek ve bacaklarının ucundan atılan mızrakları kullanarak yere yapışacak şekilde tasarlandı. Ne var ki, bir şeyler yanlış gitmişti. İniş aracının sakarca inip bir taşa çarptığı sanılıyor ve kuyrukluyıldızın çok düşük kütleçekim, Philae'nin sekmesi anlamına

> Kuyrukluyıldızın yüzeyindeyiz! Yaptıklarımız, daha önce hiç yapılmadı. Oradan aldığımız veriler eşsizdir
>
> **Matt Taylor**
> ***Rosetta Projesinde çalışan bilim insanı***

Rosetta, 67P kuyrukluyıldızına giderken hem Dünya'dan hem de Mars'tan kütleçekim yardımı aldı. Gezegenleri dönerken, gezegenlerin kütleçekim alanı uzay aracını artan bir hızla ileriye fırlattı.



16 Temmuz 2016'da Rosetta, 67P kuyrukluyıldızının merkezinden yalnızca 12,8 kilometre uzaktaydı. Bu görüntü, yaklaşık 450 metrelik bir alanı kapsıyor. Tozla kaplı kayalık bir yüzeyi gösteriyor.



geliyiordu. Philae'nin yaklaşık 1 kilometre sektikten sonra tekrar düştüğü ve hedef iniş yerinin kenarında bir yere yuvarlandığı daha sonra hesaplandı. Ne yazık ki, iniş aracı bir uçurumun gölgesine düştü ve bir köşede gibi görünüyordu. Pillerini şarj edecek Güneş ışığı olmadan Philae'nın temel bilimsel görevlerini yerine getirip, toz ve buzun kimyasal bileşimi konusunda veri göndermesi ve Rosetta'daki CONSERT aletiyle tarama yapması için yalnızca 48 saatlik enerjisi vardı. Mızrakları (inerken açılmayan) kullanarak iniş aracını tekrar Güneş ışığına çıkarma planı işe yaramadı ve Philae kapanıp güvenli moda geçti.

Güneş'e yaklaşmak

Bu aksiliğe rağmen, Philae'nin vahim inişi bir başarı sayıldı. Kuyrukluyıldız Güneş'e yaklaştıkça Philae'nin gölgeli yerinin daha güneşli olacağı umuluyor. Kuyrukluyıldız Ağustos 2015'te günberisine ya da Güneş'e en yakın noktasına ulaşacaktı. Yaklaşırken 67P ısınmaya başladı ve yüzeyi patlayıp toz ve plazma fışkırttı. Rosetta, kuyrukluyıldızın üzerinde alçaktan uçabileceği ve 67P'nin etrafını oluşturan püskülün ya da malzeme bulutunun yoğun bölgelerinden geçebileceği karmaşık bir yörünge yoluna sokuldu. Bu yolda daha da ileri gidip, kuyrukluyıldızın Güneş Sisteminin daha sıcak bölgesine girerken nasıl değiştiğine ilişkin daha tam bir resim sundu.

2015 Haziranının ortasında Philae uyanmaya yetecek kadar Güneş ışığı aldı ve Rosetta'yla aralıklı iletişime başlayıp, daha fazla CONSERT taramasına olanak verdi. Ne var ki, Temmuzun başında tekrar sessizliğe gömüldü. Neyse ki, 2 Eylül 2016'da kuyrukluyıldıza 2,7 kilometre yaklaşan OSIRIS kamerası tarafından saptandı. Philae'nin kesin iniş yerini bilmek, bilim insanlarının, bir yıl önce gönderdiği bilgiyi bağlamına oturtmasına olanak veriyor.

67P kuyrukluyıldızı Ağustos 2015'te günberiyi geçtikten sonra, Rosetta'nın kullanabileceği Güneş enerjisi hızla azaldı. Eylül 2016'da Rosetta'ya kuyrukluyıldıza yavaşça yaklaşması emredildi. 30 Eylülde kontrollü bir zorunlu iniş yapıp, çarpma anına kadar veri göndererek görevini bitirdi.

Uzay suyu

67P'nin suyunda bulunan döteryum ("ağır hidrojen") miktarı, Dünya'da bulunan sudakinden çok daha fazladır –Dünya'nın suyunun Dünya-dışı kaynaklı olduğu düşüncesine karşı bir kanıt. Bu görev, çok sayıda karbon-bazlı bileşik buldu ama verilerde yalnızca bir aminoasit (proteinlerin yapı taşı) bulundu ve nükleik asitlere (DNA bileşenleri) hiç rastlanmadı.

Rosetta'nın sonuçları astronomların kuyrukluyıldızları ve 67P'nin tipik bir cisim olup olmadığını daha iyi anlamalarına olanak sağlayacaktır. Kuiper kuşağından keşiflerle birlikte bunun, Güneş'in oluşturduğu şekliyle Güneş Sisteminin neden oluştuğunu açığa çıkarması umuluyor. ■



GÜNEŞ SİSTEMİNİN ŞİDDETLİ DOĞUŞU

NICE MODELİ

KISACA

ASTRONOMLAR
Rodney Gomes (1954–)
Hal Levison (1959–)
Alessandro Morbidelli (1966–)
Kleomenis Tsiganis (1974–)

ÖNCE
1943 Kenneth Edgeworth, Plüton''un Dış Güneş Sistemindeki birçok nesneden yalnızca biri olduğunu öne sürer.

1950 Jan Oort, uzun periyotlu kuyrukluyıldızların Güneş Sisteminin etrafını saran uzak bir buluttan geldiğini öne sürer.

1951 Gerard Kuiper, Güneş Sisteminin erken evrelerinde Plüton'un ötesinde bir kuyruklu yıldız kuşağı olduğunu öne sürer.

1993 Amerikalı gezegen bilimci Renu Malhotra, Güneş Sisteminde gezegen göçü olduğunu öne sürer.

1998 Kuiper kuşağının var olduğu doğrulanır.

SONRA
2015 New Horizons uzay aracı Kuiper kuşağına ulaşır.

21. yüzyılın başında Güneş Sisteminin birçok nesne türü içerdiği biliniyordu. Gezegenlere ve asteroid kuşağına ek olarak, dev gezegenler arasında yer alan ve kentaur denilen kuyrukluyıldız-benzeri cisimler, birçok gezegenin yörüngesini paylaşan Truvalı asteroidler vardı ve dış Kuiper kuşağı yeni keşfedilmişti. Oort bulutu denilen ve kuyrukluyıldız malzemesinden oluşan uzak bir küre, bütün bu cisimlerin etrafını sarıyordu.

Güneş Sistemi hepsi Güneş'in yörüngesinde dönen çeşitli türden nesnelerle doludur.

↓

Bu nesnelerin düzeni, **en dıştaki gezegenler** Satürn, Uranüs ve Neptün Güneş'ten **göç edince** oluştu.

↓

En dıştaki gezegenler **büyük bir malzeme diskini süpürüp,** bugün görülen sistemi bıraktı.

Bir ilkel-güneş toz ve gaz bulutundan böyle bir sistemin nasıl geliştiğini açıklamak zordu. Güneş Sistemi dışındaki sistemlerden elde edilen kanıtlar, dev gezegenlerin kendi yıldızlarını daha önce sanılandan çok daha yakın olduklarını gösterdi. Dolayısıyla, Dünya'nın Güneş Sisteminin dev gezegenlerinin Güneş'e daha yakın oluşmuş olmaları en azından mümkündü.

Gezegen göçü

2005'te Fransa'da, Nice'te dört astronom bilgisayar simülasyonları kullanarak, Güneş Sisteminin evrimini açıklayan bir teori geliştirdi. Bu teori, Nice modeli olarak bilinir. Güneş Sisteminin üç dış gezegeni Satürn, Uranüs ve Neptün'ün bir zamanlar Güneş'e şimdi olduğundan daha yakın olduklarını öne sürdüler. Jüpiter şimdiki 5,5 astronomik birimden (AU) biraz daha uzaktaydı ama Neptün daha yakında, 17 AU'daydı (şimdi 30 AU'da dönüyor). Neptün'ün yörüngesinden, gezegenimsi denilen daha küçük nesnelerin oluşturduğu geniş bir disk 35 AU'ya u yayılmaktaydı. Dev gezegenler bu gezegenimsileri içeri çekti ve bunun karşılığında Satürn, Ura-

Ayrıca bakınız: Ceres'in keşfi 94-99 ▪ Kuiper kuşağı 184 ▪ Oort bulutu 206 ▪ Kraterleri araştırmak 212 ▪ Neptün'ün ötesini araştırmak 286-87

Rodney Gomes

Brezilyalı bilim insanı Rodney Gomes, 2005'te öne çıkan Nice modeli dörtlüsünün üyesidir. Dörtlünün diğer üyeleri Amerikalı Hal Levison, İtalyan Alessandro Morbidelli ve Yunan Kleomenis Tsiganis'tir. 1980'lerden itibaren Rio de Janeiro'da Brezilya'nın ulusal gözlemevinde çalışan Gomes, Güneş Sisteminin kütleçekimsel modellenmesinde önde gelen bir uzmandır ve sıra dışı yörüngeler izliyor gibi görünen birçok Kuiper kuşağı nesnesinin (KKN) devinimini anlamak için Nice modelinin hazırlanmasında kullanılanlara benzer teknikler uyguladı. 2012'de genel kabul gören Güneş Sistemi görüşünü bir kez daha sarstı. Gomes, Neptün büyüklüğünde bir gezegenin (Dünya'dan dört kat daha ağır) Dünya'dan 225 milyar kilometre uzakta (1500 AU'da) yörüngede döndüğünü ve bu gizemli gezegenin KKN'lerinin yörüngesini bozduğunu öne sürüyor. Şimdi bu "X Gezegeni"nin yeri araştırılıyor.

> Nice modeli, gezegenlerin nasıl oluştuğu ve bu şiddetli olaylarda nasıl hareket ettikleri konusunda topluluğun algısını değiştirdi.
>
> **Hal Levison**

nüs ve Neptün Güneş'ten yavaş yavaş açılmaya başladı. Jüpiter'in güçlü kütleçekimiyle karşılaşan gezegenimsiler Güneş Sisteminin kenarına kovuldular ve orada Oort bulutunu oluşturdular; bu durum Jüpiter'in içeriye kaymasına neden oldu (şimdiki yörünge uzaklığı 5,2 AU'dur).

Rezonant yörünge

Sonunda Satürn, Jüpiter'le 1:2 rezonant yörüngeye kaydı; yani Satürn, Jüpiter'in her iki yörünge turuna karşı bir yörünge turu yapıyordu. Bu rezonant yörüngenin kütleçekim etkileri Satürn'ü, daha sonra Uranüs ve Neptün'ü dış merkezli yörüngelere (daha uzatılmış elipsler) attı. Buz devler geriye kalan gezegenimsi diskini süpürdü, çoğunu saçıp, 4 milyar yıl önce gerçekleşen, Geç Ağır Bombardıman olarak bilinen şeyi yarattı. On binlerce meteorit dış diskten kopup, iç gezegenlerin üzerine yağdı.

Gezegenimsi diskinin çoğu, 40 AU'de Neptün yörüngesine bağlı Kuiper kuşağı oldu. Bazı gezegenimsiler gezegenler tarafından yakalanıp uydu haline geldi; bazıları Truvalılar olarak kararlı yörüngeleri doldurdu ve bazıları da, asteroid kuşağına girmiş olabilir. Gezegenimsiler daha uzağa da saçıldı; 2003 ve 2005'te keşfedilen cüce gezegen Sedna ve Eris de bunların arasındadır.

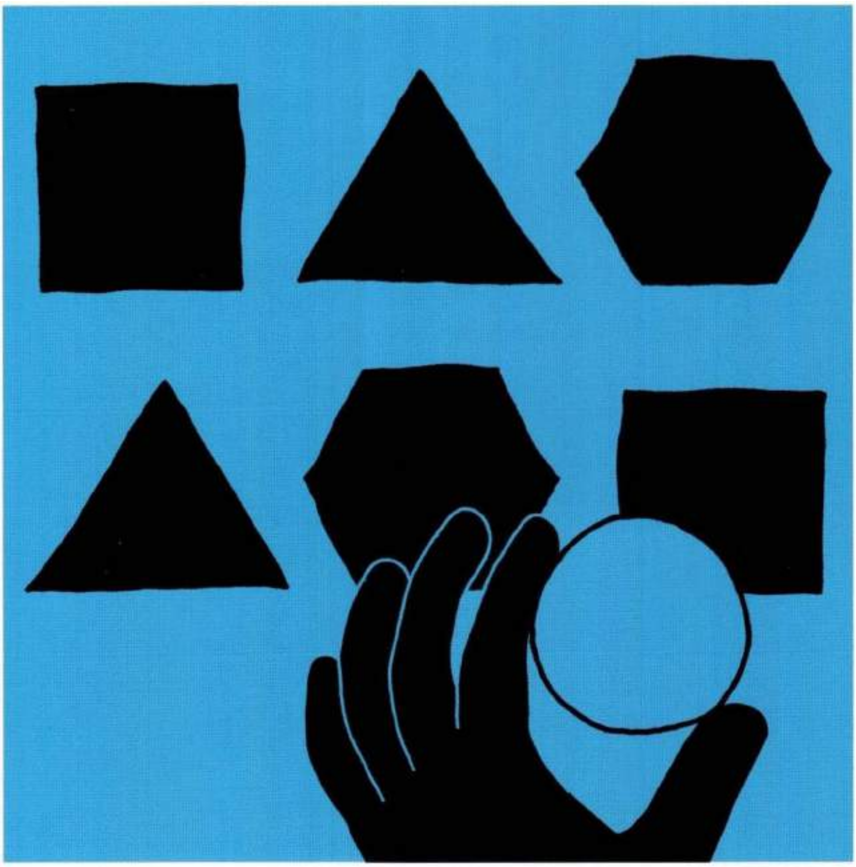
Nice modeli, Güneş Sisteminin birçok başlangıç senaryosu için iyi çalışır. Hatta senaryoların birinde Uranüs en dış gezegendir ve 3,5 milyar yıl önce Neptün'le yer değiştirir. ▪



Geç Ağır Bombardımanda, meteoritlerin çarptığı Ay korlaşıyordu. Erken Dünya'nın yüzeyinin çoğu volkanikti.

GÜNEŞ SİSTEMİNİN TUHAFLIĞINA YAKINDAN BAKALIM

PLÜTON'U İNCELEMEK



KISACA

ASTRONOM
Alan Stern (1957–)

ÖNCE
1930 Clyde Tombaugh, dokuzuncu gezegen olarak adlandırılan Plüton'u keşfeder.

1992 Plüton'un, Neptün'ün ötesinde Güneş'in etrafında dönen Kuiper Kuşağı Nesnelerinden biri olduğu anlaşılır.

2005 Neptün'ün yörüngesinin ötesinde Plüton büyüklüğünde başka bir nesne bulunur. Eris adı verilir.

SONRA
2006 Plüton, Eris ve başka birkaç nesne cüce gezegen olarak yeniden sınıflandırılır.

2016 Kuiper Kuşağı Nesnelerinin yörüngelerinin yamukluğu, çok daha ileride, Güneş'in etrafındaki dönüşünü 15.000 yılda tamamlayan Neptün büyüklüğünde bir gezegen bulunduğunu gösterir. Şimdi bu nesne aranıyor.

Ocak 2006'da NASA'nın New Horizons uzay aracı Cape Canaveral'den Plüton gezegenine ve ötesine bir yolculuğa çıktı. O an, New Horizons'ın baş araştırmacısı Alan Stern'in azminin tanığıydı.

Gezegen indirimi

O sırada, Plüton'un fiilen neye benzediğini kimse bilmiyordu. Küçüktü ve çok uzakta, Kuiper kuşağının iç kasnağının üzerindeydi ve kuvvetli Hubble Uzay Teleskobu bile onu pikselli bir ışık topu ve karanlık yamalar olarak gösterebiliyordu. 1990'larda NASA'nın bütçesi kısılınca, Plüton'u yakından araştırma planları kesintiye uğradı. 2000'e gelindiğinde plan-

Ayrıca bakınız: Oort bulutu 206 ▪ Kuyrukluyıldızların bileşimi 207 ▪ Güneş Sistemini araştırmak 260-67 ▪ Neptün'ün ötesini araştırmak 286-87

> Nasıl ki bir Şivava hâlâ bir köpekse, bu buzlu cüceler de hâlâ gezegen cisimlerdir.
> **Alan Stern**

lar rafa kaldırılmıştı ama Stern, ABD'li astronom Clyde Tombaugh'un 1930'da keşfettiği en küçük, en uzak gezegen Plüton'a bir görev aracı göndermeyi ısrarla savundu.

2003'te Stern'in New Horizons önerisine yeşil ışık yakıldı ve 2006'da uzay aracı Plüton'a dokuz yıllık uçuşuna başladı. Uçuş tam zamanında gerçekleşti. Ağustos 2006'da Plüton'un yörüngesinin ötesinde olası bir onuncu gezegenin keşfiyle harekete geçen Uluslararası Astronomi Birliği (UAB), yeni keşfin gündeme getirdiği konuları tartışmak üzere Prag'da toplandı. İlk sorun, gezegen olup olmadığıydı. UAB, Eris adı verilecek yeni cismin bir gezegen olmadığını kabul etti. Kütleçekim, diğer cisimleri yörüngesinden temizleyemeyecek kadar zayıftı. Merkür'den Neptün'e kadar gezegenler bunu yapacak kadar büyüktür ama asteroid kuşağının cisimleri bariz bir biçimde değildir –Plüton da değildi. Düzensiz kaya ve buz topakları olmak yerine küresel olmaya yetecek kadar kütleliydiler. Bu yüzden UAB yeni bir nesne sınıfı yarattı: cüce gezegenler. Plüton'a, Erise ve birçok büyük Kuiper Kuşağı Nesnesine, asteroid kuşağının en büyük cismi Ceresle birlikte, (KKN) cüce gezegen statüsü verildi. Bu nesnelerin pek çoğu için, bu yeni sınıflandırma Güneş Sistemi hiyerarşisinde bir terfiydi ama Plüton için öyle değildi. Plüton New Horizons fırlatılmadan önce gezegen olarak açıklanmış olsaydı, görev uçuşu gerçekleşmeyebilirdi.

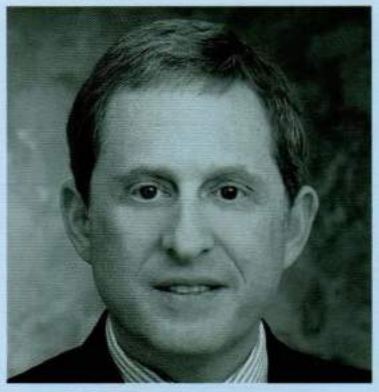
Uzun yolculuk

Plüton'un yörüngesi, Güneş'in etrafında 248 yıllık dönüşünün bir kısmında Güneş'e Neptün'den daha yakın olmasına rağmen, New Horizons uzay araştırmaları tarihinde en uzun yolculuğa çıktı –Dünya'dan 30 AU ya da 4,4 milyar kilometre. Bunun için uzay aracı o zamana kadarki en büyük hızla fırlatıldı, 58.536 km/s'lik bir kurtulma hızıyla hava-

Plüton bir **teleskopla** gözlemlenemeyecek kadar **uzaktır.**

→ **Plüton'u incelemenin** tek yolu, bir **uzay aracı** göndermektir.

→ Uzay aracı, Plüton'un buzlu yapısının tamamen **yeni tür bir gezegensel cisim** olduğunu ortaya çıkardı.



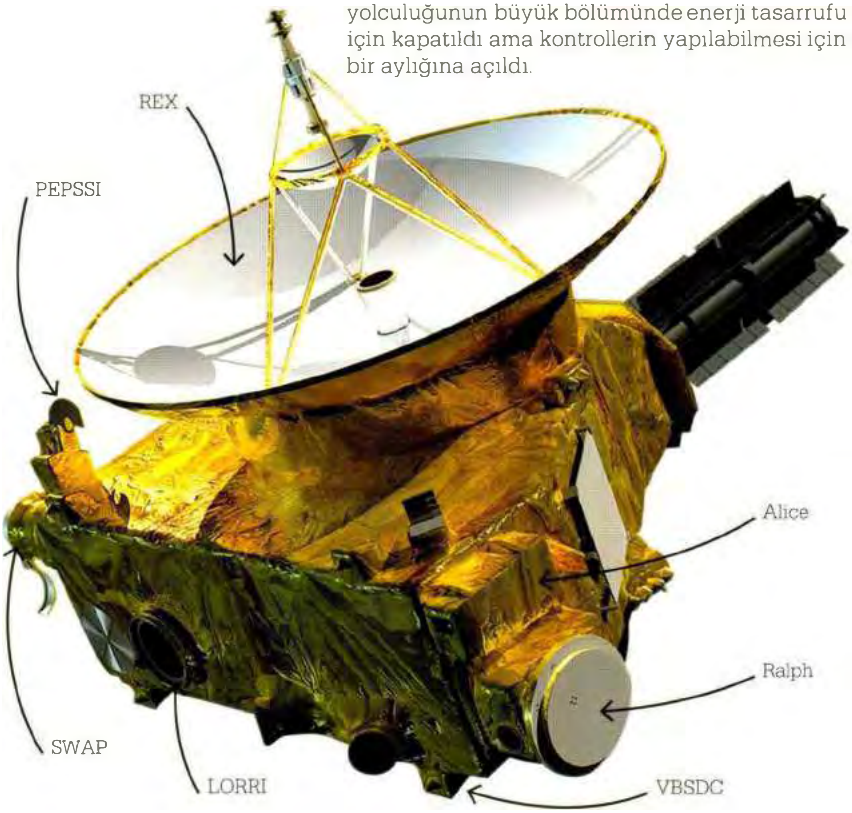
Alan Stern

1957'de Louisiana'da, New Jersey'de doğan Sol Alan Stern'in Plüton'a merakı 1989'da, Voyager programında çalışırken başladı. Oradayken Stern, Neptün'ü ve uydusu Tritonu geçerken Voyager 2'nin son karşılaşmasına tanık oldu. Triton bir buz topu gibi görünüyordu ve Stern ile diğer bilim insanlarının hayal ettiği Plüton'a çok benziyordu. (Tritonun, Neptün tarafından yakalanmış bir Kuiper Kuşağı Nesnesi olduğu düşünülür.)

1990'larda Stern, Uzay Mekiği yükü uzmanı (teknik uzman) olarak yetişti ama uzaya uçma fırsatı bulamadı. Onun yerine Plüton'u, Kuiper kuşağını ve Oort bulutunu incelemeye döndü. New Horizons misyonunun baş araştırmacısı olmanın dışında Stern, uzay araştırmaları için yeni aletler ve astronotları yörüngeye oturtmanın daha ucuz yollarını geliştirmekle ilgileniyor.

Önemli eserleri

2005 *Pluto and Charon: Ice Worlds on the Ragged Edge of the Solar System*



New Horizons'un bilimsel aletleri, 10 yıllık yolculuğunun büyük bölümünde enerji tasarrufu için kapatıldı ama kontrollerin yapılabilmesi için bir aylığına açıldı.

landı. Fırlatmadan bir yıl sonra, uzay aracı Jüpiter'e ulaştı. Jüpiter sisteminde bazı gözlemler de yapan New Horizons, Jüpiter'in kütleçekimini kullanarak yüzde 20'lik bir hız desteği kazandı. Bu, Plüton'a uçuş zamanını 12 yıldan 9,5 yıla indirdi.

Araçtaki aletler

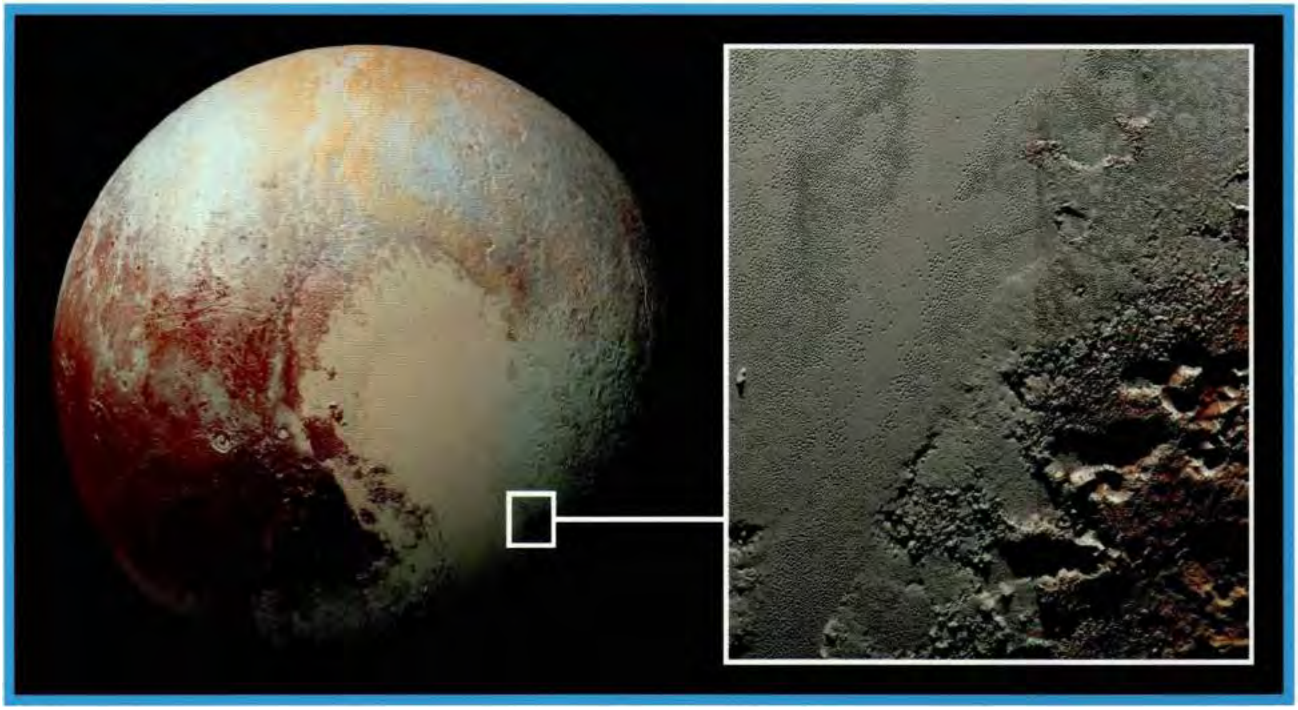
New Horizons'un başarısı için Jüpiter'den gidiş yolunun kesinliği çok önemliydi. Biraz sapsa, Plüton'u tamamen kaçırırdı. Ana gözlem aralığı yaklaşık 12 saatti; ondan sonra New Horizons Plüton'u geride bırakacaktı. Plüton'dan radyo sinyallerinin Dünya'ya ulaşması 4,5 saat alır, yanıt göndermek de aynı zamanı alır. Bu nedenle, küçük bir seyir düzeltmesi yapmak bile dokuz saat sürer ve bu zaman diliminde esas görev süresi de neredeyse bitmiş olurdu.

New Horizons yedi alet taşımaktaydı. Birlikte çalışacak şekilde yapılan ve 1950'lerin ABD durum komedisi *The Honeymooners*'daki karakterlerin adı verilen iki görüntüleme spektrometresi vardı. Ralph, Plüton'un yüzeyinin haritasını çıkarmak için kullanılan görünür ve kızılaltı ışık spektrometreydi; Alice ise, morötesi ışığa duyarlıydı ve Plüton'un ince atmosferini incelemekle görevliydi. REX (Radyo bilimi Deneyi), Plüton'un ve uydularının sıcaklığını ölçecekti; teleskobik bir kamere olan LORRI (Uzun Menzili Keşif Görüntüleyici), Plüton sisteminin en yüksek çözünürlüklü resimlerini üretecekti; SWAP (Plüton'un Etrafında Güneş Rüzgârı), adının da gösterdiği gibi, Plüton'un Güneş rüzgarıyla etkileşimini gözlemleyecekti; PEPSSI (Plüton Enerjili Parçacık Spektrometresi Bilimi Araştırması) ise, Plüton'un çıkardığı plazmayı saptayacaktı. Bu, cüce gezegenin atmosferinin, Plüton'un Güneş'e yaklaştığı "yaz" mevsiminde buzlu yüzeyinden sublimasyonla (bir katının doğrudan gaza dönüşmesi) nasıl oluştuğunu anlamaya yardımcı olacaktı. Son olarak, SDC (Öğrenci Toz Sayacı), görev süresince üniversite öğrencilerince çalıştırılan bir aletti. Plüton adını öneren Britanyalı kız Venetia Burney için, bu deneyin adı değiştirilip VBCDC yapıldı.

Hedefe ulaşıldı

New Horizons Ocak 2015'te hedefine yaklaşmaya başladı. Yaptığı ilk işlerden biri, Plüton'un büyüklüğüne ilişkin doğru bir ölçüm yapmaktı. Bu, her zaman çözülmesi zor bir sorun olmuştu. İlk keşfedildiğinde, Plüton'un Dünya'nın yedi katı büyüklükte olduğu tahmin edildi. 1978'e gelindiğinde, Plüton'un Dünya'nın uydusundan küçük olduğu açıktı. Ne var ki, Charon (Yunan mitolojisinde ölülerin kayıkçısı) adında, Plüton'un üçte bir büyüklüğünde iri bir uydusu da vardı ve iki cisim, ikili bir sistem gibi birbirinin etrafında dönüyordu. Fırlatma sıra-

> Eskiden Plüton uyumsuzdu. Şimdi Dünya'nın uyumsuz olduğu anlaşılıyor. Güneş Sistemindeki pek çok gezegen, karasal gezegenlere değil Plüton'a benziyor.
>
> **Alan Stern**



New Horizons'tan alınan bu görüntü, Plüton'un büyük buz düzlüklerin güneydoğu kısmına zum yapar; burada düzlükler, engebeli, karanlık tepelerle sınırdır.

sında planlamacılar iki küçük uyduyu, Nix ve Hydra'yı da hesaba kattı ama 2012'de, New Horizons epey yol almışken, görevi kesintiye uğratma potansiyeli olan iki uydu daha bulundu –Kerberos ve Styx.

Plüton'u ölçmek

Sonunda bu endişeler yersiz oldu ve LORRI, bütün bu cisimlerin ölçüsünü alabildi. Plüton'un genişliği 2379 kilometredir; yani Eris'ten daha büyüktür (Eris daha ağır olmasına rağmen). 14 Temmuz 2015'te New Horizons, Plüton'un 12.472 kilometre üstünde uçtu –en yakın yaklaşması. Aletleri, Dünya'ya iletilecek çok miktarda veri topluyordu. Plüton'un yakın plan görüntüsü, soluk buz ovalardan ve karanlık tepelerden oluşan bir dünya olduğunu gösterdi. Buz büyük ölçüde donmuş nitrojendir; bu da Plüton'u çok parlak bir nesne yapmaktadır. Tepeler de buzdur (katran benzeri hidrokarbonlarla karışık olmasına rağmen). Buz, ovalardan 3 kilometre kadar yükselen doruklara saplanır. Bu kadar soğuk ve küçük bir cisimde bu kadar büyük özelliklerin nasıl oluştuğu, New Horizons misyonunun sırlarından biridir. Ayrıca, krater benzeri yapılar da olası buz volkanları olarak tanımlandı.

Önemli noktaları adlandırmak

Plüton'un yüzey şekillerine, NASA'nın bilim insanlarınca gayri resmi adlar verildi. Cthulhu Regio, güney yarımkürede balinaya benzer geniş ve karanlık bir bölgedir. Diğer bölgelere geçmişteki görevlerin adları verildi: Voyager, Venera ve Pioneer. İki büyük sıradağ açıkça görüntülendi: Everest Dağının doruğuna ulaşan ilk dağcıların adı verildi Norgay Montes ve Hillary Montes. Bununla birlikte, New Horizons'un çıkardığı kısmi Plüton haritasının merkezi yüzey şekli, kalp şeklinde bir düzlük olan Tombaugh Regio'dur. Bu alanın yarısı, çatlaklarla ve oluklarla dolu ama hiç krater bulunmayan geniş bir yüzen buz kütlesinden, Sputnik Planitia'dan oluşur; bu da, Dünya'daki buzullar gibi yeni yüzey şekilleri oluşturmakta olan genç bir yer özelliği olduğunu gösteriyor.

Plüton'u geçen uzay aracı, diğer KKN'leriyle karşılaşma yolundadır. Nükleer güç kaynağı 2030 civarına kadar sürecek ve bu görev, birçok keşif daha yapacak. ■

MARS'TA BİR LABORATUVAR

MARS'I ARAŞTIRMAK



KISACA

KURUM
NASA – Mars araştırması

ÖNCE
1970 Sovyetlerin Lunokhod 1'i, Ay'a inince başka bir cisim üzerinde kullanılan ilk taşıt olur.

1971 Ay Taşıtı, NASA'nın Apollo 15 misyonu sırısında ilk kez Ay'da sürülür.

1977 NASA'nın Sojourner'ı, Mars'a ulaşan ilk taşıttır.

SONRA
2014 Opportunity, bir taşıtın dünya dışı bir cisimde mesafe rekorunu kırar.

2020 NASA Mars 2020 taşıtı, Curiosity'nin yerini almak üzere fırlatılacak.

2020/21 ExoMars taşıtı, Avrupa Uzay Ajansı tarafından, kil içeren kayaçlarla dolu bir çöküntü olan Oxia Planum'da kullanılacak.

Ağustos 2012'de, daha çok Curiosity olarak bilinen Mars Bilim Laboratuvarı Taşıtı Mars'a indi. 900 kilogram ağırlığında olan ve Mars yüzeyinde hâlâ dolaşan bu tekerlekli taşıt, kızıl gezegenin doğal tarihini anlamayı amaçlayan jeolojik deneyleri yapmak üzere donatılmış seyyar bir laboratuvardır. Mars'a ulaşan en son robot kâşiftir ve öteki dünyaları araştırmaya gönderilen uzun bir taşıtlar silsilesinde en büyük ve en ileri olanıdır.

Gezginler

Uzayda taşıtların potansiyeli, Apollo 15'in dört tekerlekli bir Ay Taşıtını Ay'a taşıdığı 1971'den beri belliydi. Bu çevik iki kişilik araba, son üç Apollo misyonunun ay araştırmaları kapsamını genişletti. Örneğin, 1969'daki ilk Ay'a iniş sırasında Neil Armstrong ve Buzz Aldrin Ay'da yalnızca iki buçuk saat yürüdü ve ay modülünden en fazla 60 metre uzaklaştılar. Ama 1972'de son Apollo Ay misyonunda, Apollo 17, iki kişilik mürettebat –Eugene Cernan ve Harrison Schmidt– dışarıda 22 saatten fazla zaman geçirdi. Taşıtlarıyla toplam 36 kilometre yol yaptılar; her sürüşte, uzay aracından 7,6 kilometre uzaklaştılar. Ay Taşıtı ya da Ay buggy'si, kayaç toplamak için kullanıldı. Altı Apollo misyonu Dünya'ya 381 kilogram kayayla döndü.

Bu kayaların analizi, Ay'ın tarihiyle ilgili çok şey açığa çıkardı. En eskisi 4,6 milyar yaşındaydı ve kimyasal bileşimleri, Dünya'daki kayaçlarla ortak bir atayı açıkça gösteriyordu. Testler herhangi bir organik bileşiğin varlığını kanıtlamadı; bu durum, Ay'ın her zaman kuru ve yaşamsız bir dünya olduğunu göstermektedir.

> Mars'ın yanından geçildi, yörüngesinde dönüldü, şiddetle çarpıldı, radarla incelendi ve roket atıldı; üzerinde zıplandı, yuvarlanıldı, kürendi, delindi, fırınlandı, hatta patlatıldı. Peşi gelecek: Mars'a ayak basılıyor.
> **Buzz Aldrin**

Lunokhod 1

1960'ların başında başlayan Sovyet ay programı, Ay'ı araştırmak için insansız araçları kullanmaktaydı. Üç Sovyet Luna sondası toplam 326 gram kayaçla döndü. Sonra Kasım 1970'te Sovyet iniş aracı Luna 17, Yağmur Denizi denilen geniş bir ay düzlüğüne ulaştı (Ay'ın birçok böl-



Jeolog-astronot Harrison Schmidt, 1972 Apollo 17 misyonu sırasında Ay'ın yüzeyinden örnekler toplar. Ay taşıtıyla saatlerce yüzey araştırması yaptı.

Ayrıca bakınız: Uzay yarışı 242-49 ▪ Güneş Sistemini araştırmak 260-67 ▪ Kuyrukluyıldızları anlamak 306-11 ▪ Plütonu incelemek 314-17



Sovyet Lunokhod 1 taşıtı (burada Dünya'daki testlerde görülüyor), uzayda bir dünyaya inen ilk taşıttı –önceli Lunokhod 0, 1969'da fırlatıldı ama yörüngeye ulaşamadı.

gesine, eskiden Dünya'da etkiledikleri düşünülen hava koşullarının adı verildi). Luna 17, uzaktan kumandalı taşıt Lunokhod 1'i taşıdı (Lunokhod, "ayda yürüyen" demektir). Bu, dünya dışında hareket eden ilk tekerlekli taşıttı; ilk Apollo taşıtından yaklaşık sekiz ay önce. Arkasındaki kavrayış basitti: Ay kayaçlarını Dünya'ya göndermek yerine, taşıt orada analiz yapacaktı.

Uzaktan kumandalı kâşif

Lunokhod taşıtı 2,5 metre uzunluğundaydı ve motorlu bir küvete benziyordu. Tekerlekler, engebeli Ay arazisinde çekiş gücünü korumak için birbirinden bağımsız çalışıyordu. Lunokhod, Ay'ın TV görüntülerini gönderen iki kamerayla donatılmıştı. Kayaların kimyasal bileşimini analiz etmek çin bir X-ışını spektrometresi kullanıldı ve yoğunluğunu ölçmek için Ay toprağına penetrometre denilen bir aygıt sokuldu.

Lunokhod, taşıtın tepesinde açılan güneş panellerini kullanarak gündüz şarj olan pillerle çalışıyordu. Geceleri, makinenin içinde radyoaktif polonyum kaynağı, makineyi çalışır durumda tutan ısıtıcı işlevi görmekteydi. Taşıt, nereye gideceği ve ne zaman deney yapacağı konusunda Dünya'daki kontrolörlerden emir alıyordu. Bir insan daha iyisini yapabilirdi ama taşıtlar uzayda aylarca kalabilir ve Dünya'dan yiyecek ve su istemezdi.

Lunokhod 1 üç ay çalışacak şekilde tasarlandı ama neredeyse 11 ay görev yaptı. Ocak 1973'te Lunokhod 2, Sea of Serenity kenarındaki Le Monnier Kraterine indi. Hazirana gelindiğinde Lunokhod 2 toplam 39 kilometre yol almıştı –30 yıldan fazla bir süre kırılamayan bir rekor.

> Zamanla Mars'ı yaşanabilir kılıp Dünya'ya benzetebilirsiniz...
> Bu yüzden tadilat gerektiren bir gezegendir.
> **Elon Musk**
> ***Kanadalı uzay girişimcisi***

Mars yürüyüşçüsü

Lunokhod 1 Ay'ı araştırırken, Sovyet uzay programı daha da büyük bir ödül peşindeydi: Mars'ta bir taşıt. Aralık 1971'de Mars 2 ve Mars 3 kod adlı iki Sovyet uzay aracı, kızıl gezegene inmek üzere modül gönderdi. Mars 2 parçalandı ama Mars 3 başarılı bir iniş yaptı –Mars'a ilk iniş. Ne var ki, olasılıkla yoğun bir toz fırtınasının yarattığı hasar nedeniyle, yalnızca 14,5 saniye sonra iletişim kesildi. Bilim insanları Mars 3'ün kargosuna –Prop-M, kayak şeklinde iki ayak üstünde yürüyecek şekilde tasarlanan 4,5 kilogram ağırlığında küçük bir taşıta– ne olduğunu hiçbir zaman anlayamadı. 15 metrelik bir göbek bağından enerji alıyordu ve yüzeydeyken, Mars toprağında ölçüm yapacak şekilde tasarlanmıştı. Prop-M'nin görevini yerine getirmiş olması olası değildir ama Dünya'dan girdi almadan çalışmaya programlanmıştı. Ay ile Dünya arasında bir radyo sinyalin yolculuğu 2 saniyeden az sürer ama Mars'tan ya da Mars'a bir sinyalin gelmesi, gezegenin Dünya'dan uzaklığına bağlı olarak 3 ila

21 dakika alır. Bir Mars taşıtının başarılı bir kâşif olması için, kendi başına çalışması gerekiyordu.

Aşağı atlama

1976'da NASA'nın Viking iniş aracı, Mars'ın ilk resimlerini gönderdi. Bu başarıdan sonra daha çok taşıt planlandı ama bu projelerin büyük çoğunluğu sonuçlanmadı; basının "Mars Laneti" dediği şeye boyun eğdi.

NASA sonunda 1997 Mars Pathfinder misyonuyla bir başarı elde etti. O yılın temmuzunda Pathfinder uzay aracı Mars atmosferine girdi. Önce bir ısı kalkanını sürtünmesiyle, sonra büyük bir paraşütle yavaşlayan uzay aracı koruyucu dış kalkanının attı ve içindeki iniş aracı, 20 metrelik bir iple aşağı indirildi. Yüzeye yaklaşınca, iniş aracının etrafında büyük koruyucu hava yastıkları şişti ve iniş hızını yavaşlatmak için, ipi tutan uzay aracındaki yavaşlatma roketleri ateşlendi. Sonra ip kesildi ve iniş aracı, Mars yüzeyinde yuvarlanıp bir yerde durana kadar sekti. Neyse ki, hava yastıklarının havası inince, iniş aracı doğru durumdaydı. Dört yüzlü iniş aracının üs taraftaki üç yüzü ya da "taç-

> Zarif düz bir yere indik. Güzel, gerçekten güzel.
> **Adam Steltzner**
> ***İniş mühendisi, Curiosity***

yaprakları" dışa doğru açıldı ve 11 kilogramlık taşıt ortaya çıktı.

Gelişim sırasında taşıta MFEX denildi –Microrover Flight Experiment'in kısaltılmışı. Ne var ki, kamuoyu Sojourner olarak tanıdı; bu ad "seyyah" anlamına geliyordu ve 19. yüzyılda ABD'li kölelik karşıtı ve hak savunucusu aktivist Sojourner Truth'la bağlantısından ötürü tercih edilmişti.

Mars'ta gezinti

Sojourner, Mars'ın yüzeyinde tur atan ilk taşıttı. Bununla birlikte, Pathfinder misyonu gelecekte daha büyük taşıtlara güç sağlayacak yeni teknoloji ve iniş sistemi için bir testti. Küçük taşıt 83 günlük görevi süresince yalnızca 100 metre yürüdü ve iniş aracından 12 metre öteye gidebildi. Şimdi Carl Sagan Anısına İstasyon adı verilen iniş aracı, taşıttan Dünya'ya veri aktarımı için kullanıldı. Taşıtın enerjisinin büyük bölümü, tepesindeki güneş panellerinden gelmekteydi. Misyonun hedeflerinden biri, bu panellerin aşırı sıcaklığa ne kadar dayanacağını ve Mars'ın zayıf günışığında ne kadar enerji üretilebildiğini görmekti.

Taşıtın faaliyetleri, NASA'nın California'daki Jet Propulsion Laboratory'den (JPL) yönetildi ve JPL, Mars taşıtları geliştirmede öncü ajans olarak kaldı. Mars'la iletişimde kaçınılmaz olan zaman gecikmeleriyle birlikte, bir taşıtı gerçek zamanda yürütmek olanaklı olmamasıdır; bu yüzden bir yolculuğun her ayağı programlanmalıdır. Bunu gerçekleştirmek için, iniş aracı üzerindeki kameralar kullanılıp, Sojourner'ın etrafındaki yüzeyin sanal bir modeli yaratıldı. İnsan kontrolörler, taşıtın yolunun haritasını çıkarmadan önce alanı her açıdan üç boyutlu olarak görebiliyordu.

Spirit ve Opportunity

Büyüklük ve güç bakımından sınırlılıklarına rağmen Sojourner'ın misyonu büyük bir başarıydı ve NASA, iki Mars Exploration Rovers'la (MER) kararlılığını sürdürdü. Haziran 2003'te Spirit adı verilen MER A ve Opportunity adlı MER B fırlatılmaya hazırdı. Lunokhod taşıtıyla aşağı yukarı aynı büyüklükteydiler ve yaklaşık 180 kilogram daha hafiftiler. Ertesi yıl yolculuğun sonuna gelindiğinde ikisi de Mars çöllerinde, tepelerinde ve düzlüklerinde dolaşıyor, yüzey şekillerini fotoğraflı-



83 günlük çalışması süresince küçük Sojourner taşıtı gezegenin yüzeyinde yaklaşık 250 metrekarelik bir alanı araştırdı ve 550 görüntü kaydetti.

> Mars'ta bulunma nedeniniz ne olursa olsun, orada olmanızdan memnunum. Keşke ben de sizinle olsaydım.
> **Carl Sagan**
> ***Gelecekteki kâşiflere bir mesajda***



Bir sanatçının izlenimi, bir NASA Mars Explorer Rover'ı tasvir ediyor. Opportunity ve Spirit taşıtları 2003'te birkaç hafta arayla fırlatıldı ve Ocak 2004'te Mars'ta iki alana indi.

yor, kaya örneklerini ve atmosferi kimyasal olarak analiz ediyordu. O zamana kadar görülen en muhteşem Mars manzaralarını gönderdiler; jeologların gezegenin büyük ölçekli yapılarını incelemelerini olanaklı kıldılar.

Spirit ve Opportunity, Sojourner'la aynı hava yastığı ve ip sistemini kullanarak inmişti. Sojourner gibi ikisi de güneş panellerine bağımlıydı ama yeni taşıtlar, kendi iniş araçlarından uzaklara gidebilen, kendi kendine yeterli birimler olarak inşa edildi. Her taşıtın altı tekerleği sallanan bir mekanizmaya bağlıydı; bu, taşıtlar engebeli arazide geçerken en az iki tekerleğin yere basmasını olanaklı kılıyordu. Yazılım belli bir özerklik sunuyordu; bu yüzden taşıtlar, ani bir toz fırtınası gibi beklenmedik olaylara Dünya'dan talimat bekleme ihtiyacı duymadan tepki verebiliyorlardı.

Düşük beklentiler

Yine de bu taşıtlardan beklentiler düşüktü. JPL, yaklaşık 600 metre yol alacaklarını ve 90 Mars günü (yaklaşık olarak 90 Dünya gününe eşit) dayanacaklarını umuyordu. Ne var ki, Mars kışında ekip, güneş enerjili taşıtların çalışmaya yetecek kadar enerjiyi koruyup koruyamayacaklarını bilmiyordu. Güneş Sisteminin bütün kayaç gezegenleri arasında, mevsimleri Dünya'nınkine en çok benzeyen Mars'tır; çünkü iki gezegenin dönüş ekseninin eğriliği birbirine benzer. Mars kışları karanlık ve son derece soğuktur; yüzey sıcaklığı, kutup buz örtüsüne yakın −143 ^{0}C'ye kadar düşer.

Öngörüldüğü gibi, Mars rüzgârları güneş panellerinin üzerine ince toz üfleyip, enerji üretmelerini kesti; ama rüzgâr, bazen panelleri temizledi de. Kış yaklaştıkça JPL ekibi, taşıtların güven içinde kış uykusuna yatabileceği uygun yerler aradı. Bunun için, taşıtın spektroskopik kameralarından alınan görüntülerden inşa edilen üç boyutlu bir izleyici kullandılar. Elektrik üretimini azamileştirmek ve pilleri doldurmak için doğan Güneş'e bakan dik yamaçlar seçildi. Çok önemli olmayan donanım kapatıldı; böylece enerji, taşıtların iç sıcaklığını -40 ^{0}C'nin üstünde tutan ısıtıcılara yönlendirilebildi.

Devam eden görev

Kış uykusu işe yaradı ve inanılmaz bir biçimde JPL, taşıt görevlerini birkaç günden birçok yıla uzatmayı başardı. Bununla birlikte beş yıldan fazla görev yaptıktan sonra Spirit yumuşak toprağa saplandı; Dünya'dan uzaktan kumandayla kurtarma girişimleri işe yaramadı ve bir kış sığınağına gidemeyen Spirit, on ay sonra güçten düştü. 7,73 kilometre yol kat etmişti. Bu arada Opportunity aksilik yaşamadı ve çalışmaya devam ediyor. 2014'te, Lunokhod 2'nin mesafe rekorunu kırdı ve Ağustos 2015'e gelindiğinde, 42,45 kilometrelik maratonu tamamlamıştı. Bu, Dünya'dan yüz milyonlarca kilometre uzakta bulunan bir gezegende büyük bir başarıydı.

Curiosity ihtiyacı

Spirit ve Opportunity en son dedektörlerle donatıldı; bunların arasında mineral yapıları görüntülemek için



bir mikroskop ve kayaların içinden örnek almak için bir aşındırma aleti de vardı.

Bununla birlikte, Ağustos 2012'de gezegene ulaşacak bir sonraki taşıt Curiosity, yalnızca jeolojiyi incelemekle kalmayan, biyolojik izler, Mars'ın bir zamanlar yaşam barındırıp barındırmadığını gösterecek organik maddeler de arayan aletler taşımaktaydı. Bunların arasında, kimyasallarını açığa çıkarmak için zemin kaya örneklerini buharlaştıran SAM (Mars'ta Örnek Analizi) cihazı da vardı. Taşıt ayrıca, gezegenin gelecekte insanların koloni kurmaları için güvenli olup olmayacağını görmek için ışınım düzeylerini izledi.

Daha önceki taşıtlardan epeyce büyük olan Curiosity, alışılmadık bir yolla Mars'a gönderildi. Misyonun iniş evresinde radyo gecikmesi (Dünya'dan uzaklığın neden olduğu) 14 dakikaydı ve atmosferden yüzeye yolculuk yedi dakika alacaktı –hepsi otomatik pilotla gerçekleştirilecekti (Dünya'dan uzaktan kumandayla değil). Bu, "yedi dakikalık korku" anı yarattı: Dünya'daki mühendisler, Curiosity'nin Mars atmosferine girdiğini bildiren bir sinyal geldiğinde, taşıtın zaten yedi dakikadır yerde –çalışır durumda ya da parçalanmış– olacağını biliyorlardı.

> Yedi dakikalık korku, yedi dakikalık zafere dönüştü.
> **John Grunsfeld**
> ***NASA yöneticisi***

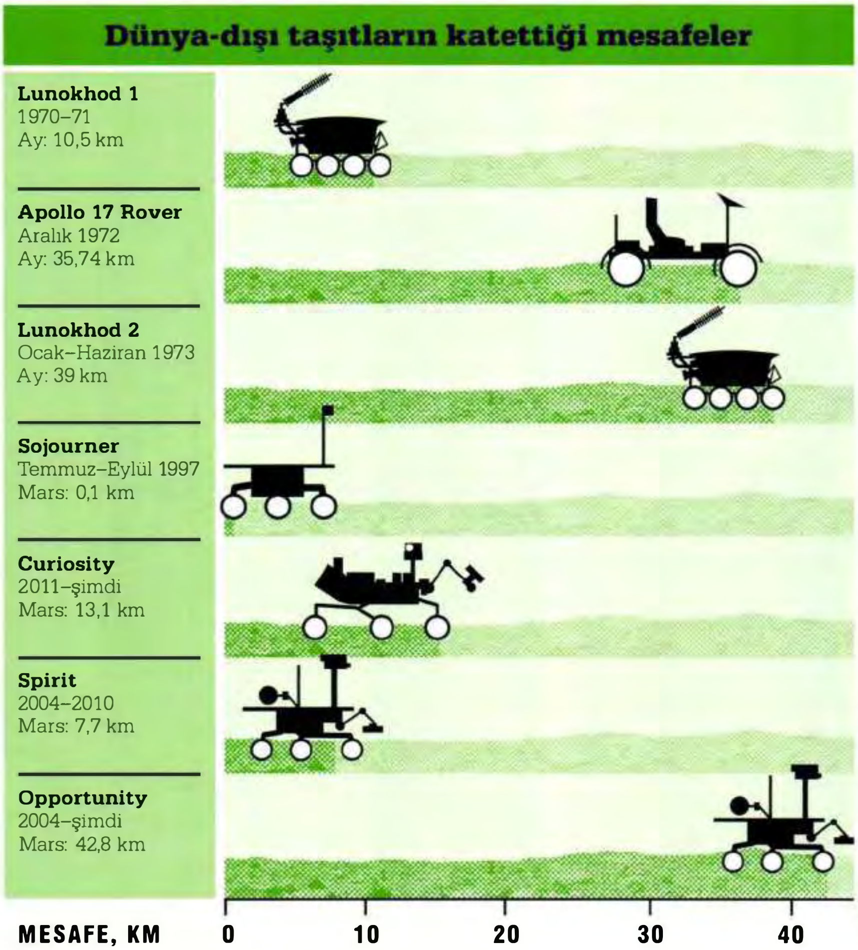
Mars'ta, Curiosity'nin fotoğrafladığı "Kimberley" oluşumunda katmanlar, bir su akışına işaret ediyor. Uzakta, 2012'de ABD'li jeolog Robert P. Sharp'ın adı verilen Sharp Dağı görülüyor.

Güvenli iniş

Curiosity'nin iniş aracı üst atmosferden geçerken, ısı kalkanı sıcaktan korlaştı; roketler, iniş hızını Gale Kraterine, büyük bir meteorit çarpmasının neden olduğu eski bir kratere ulaşmaya ayarladı. Bir paraşüt uzay aracını saatte 320 kilometreye kadar yavaşlattı ama bu da, bir iniş için çok hızlıydı. Merkezdeki 6000 metrelik dağdan sakınarak kraterin düz bir bölgesine inişini yavaşlatmaya devam etti. Araç yüzeye 20 metreye kadar yaklaştı ve sonra havada durmak zorunda kaldı; çok alçaktan gitmek, aletleri bozabilecek bir toz bulutu yaratacaktı. Sonunda taşıt, gök vinci denilen ve roketle

çalışan bir hava yastıklı platformla yüzeye indirildi. Daha sonra, olası bir çarpma, gelecek araştırmaya zarar vermesin diye, gök vinci ayrılıp alanın uzağına atılmalıydı.

İnişi atlatan Curiosity, güvenli bir biçimde yerine ulaştığını Dünya'ya sinyalle bildirdi. Curiosity'nin güç kaynağının en az 14 yıl dayanması beklenmektedir ve başlangıçtaki iki yıllık görev süresi süresiz olarak uzatıldı. Şimdiye kadar, ışınım düzeylerini ölçüp, insanların Mars'ta hayatta kalmalarının olanaklı olabileceğini açığa çıkardı; geçmişte suyun, hatta yaşamın varlığını gösteren eski bir nehir yatağı keşfetti; nitrojen, oksijen, hidrojen ve karbon gibi yaşamın temel öğelerinden birçoğunu buldu. ■

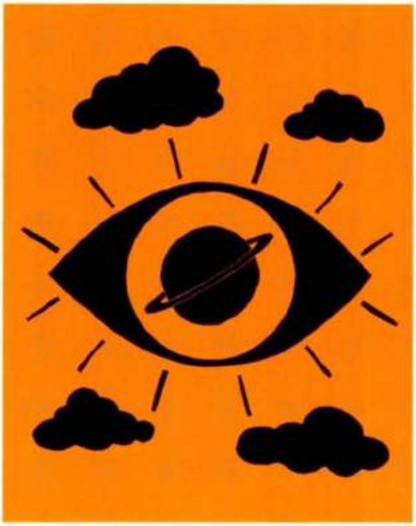




ExoMars

2020'de Avrupa Uzay Ajansı, Rus uzay ajansı Roscosmos ile birlikte, ilk Mars taşıtını, ExoMars'ı (Mars'ta Eksobiyoloji), ertesi yıl Mars'a indirmek amacıyla fırlatacak. Güneş enerjisiyle çalışan taşıt, uzayda yaşamın işaretlerini aramanın yanı sıra, yeraltı suyu bulmak için Mars kayalarının derinliklerine bakacak bir yer radarı da taşıyacak. ExoMars taşıtı Dünya'yla iletişimi, 2016'da fırlatılan ExoMars Trace Gas Orbiter uydusu aracılığıyla kuracak. Bu sistem veri aktarımını günde iki kezle sınırlayacak. Taşıt kendi kendini sürecek şekilde tasarlanmıştır; kontrol yazılımı arazinin sanal bir modelini kuracak ve buna göre hareket edecektir. Taşıt yazılımına, İngiltere'de Stevenage'da, Mars yüzeyinin Mars Yard denilen yüzeyinin bir maketinde nasıl yol alacağı öğretildi (üstte).

ExoMars taşıtının Mars'ın yüzeyinde en az yedi ay çalışması ve 4 km yol alması beklenmektedir. Daha sonra yerinde kalıp iniş yerinin etrafındaki alanı inceleyecek robot bir platformla yüzeye bırakılacak.



GÖKYÜZÜNDEKİ EN BÜYÜK GÖZ

UZAYIN DAHA İLERİSİNE BAKMAK

KISACA

GELİŞME
European Extremely Large Teleskobu (2014–)

ÖNCE
1610 Galileo Galilei bir teleskop kullanarak ilk kayıtlı astronomik gözlemleri yapar.

1668 Isaac Newton ilk kullanılabilir aynalı teleskobu yapar.

1946 Lyman Spitzer Jr, Dünya'nın atmosfer girişiminden sakınmak için uzaya teleskop yerleştirmeyi önerir.

1990 Hubble Uzay Teleskobu fırlatılır.

SONRA
2015 ABD-yönetimli 22 metrelik Dev Macellan Teleskobunun inşasına Şili'de başlanır.

2016 LIGO, uzayda nesnelerin kütleçekim dalgalarını saptar.

2018 James Webb Uzay Teleskobu, uzaya fırlatılan en büyük teleskop olacak.

ESO, Avrupa Güney Gözlemevi, adına rağmen Şili'de, yer-temelli astronomi için ideal olan kuru çöl ve yüksek dağlık bir bölgededir. Brezilya ve Şili ile birlikte 15 Avrupa ülkesinin bu ortak çalışması, 50 yıldan fazla bir süredir astronominin sınırlarını zorlamaktadır.

Büyük teleskoplar

ESO kendi teleskopları için aslına uygun adlar kullanır. 1989'da Yeni Teknoloji Teleskobunu çalıştırmaya başladı; yeni teknoloji, görüntülerde atmosfer türbülansının neden olduğu bulanıklığı azaltan uyarlamalı optikti. 1999'da, birlikte kullanılabilen 8,2 metrelik dört aynalı teleskoptan oluşan Çok Büyük Teleskobu açtı. 66 antenli büyük bir radyo teleskobu olan Atacama Büyük Milimetre Dizisi, 2013'te çalışmaya başladı. Bu, o zamana kadarki en büyük ESO programıdır ve bütün zamanların en büyük grup-tabanlı astronomi projesidir. Bununla birlikte, 2014'te ESO, Avrupa Aşırı Büyük Teleskobu (E-ELT) için fon aldı. 2024'te tamamlandığında, Hubble Uzay Teleskobunun (s. 172-77) 15 katı bir çözünürlükle, o zamana kadar yapılmış en büyük optik teleskop olacak.

Avrupa Güney Gözlemevi

1962'de kurulan Avrupa Güney Gözlemevine (ESO) bugün 17 ülke üyedir: Şili ve Brezilya ile birlikte Avusturya, Belçika, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, İtalya, Hollanda, Polonya, Portekiz, İspanya, İsveç, İsviçre ve İngiltere. Şili'nin Atacama Çölündedir; gökyüzü berrak, nemsiz olduğu ve ışık kirliliği bulunmadığı için burası seçilmiştir. ESO'nun karargâhı Almanya'da Munich yakınlarındadır ama çalışma üssü, uzak çölde ultra modern bir bilim merkezi olan Paranal Gözlemevidir. Gözlemevinin yeraltındaki yaşam alanları, 2008'de *Quantum of Solace* filminde kötü adamın sığınağı olarak kullanıldı. Sitenin yeni Aşırı Büyük Teleskobunun (E-ELT) yapım maliyeti 1 milyar Avrodur. ESO, önerilen tasarımda ana ayna genişliği 100 metre olan çok daha pahalı OWL (Overwhelmingly Large Telescope –Aşırı Büyük Teleskop) reddedildikten sonra bu projeyi tercih etti.

Ayrıca bakınız: Galileo'nun teleskobu 56-63 ▪ Kütleçekim teorisi 66-73 ▪ Uzay teleskopları 188-95 ▪
Uzak yıldızları incelemek 304-05



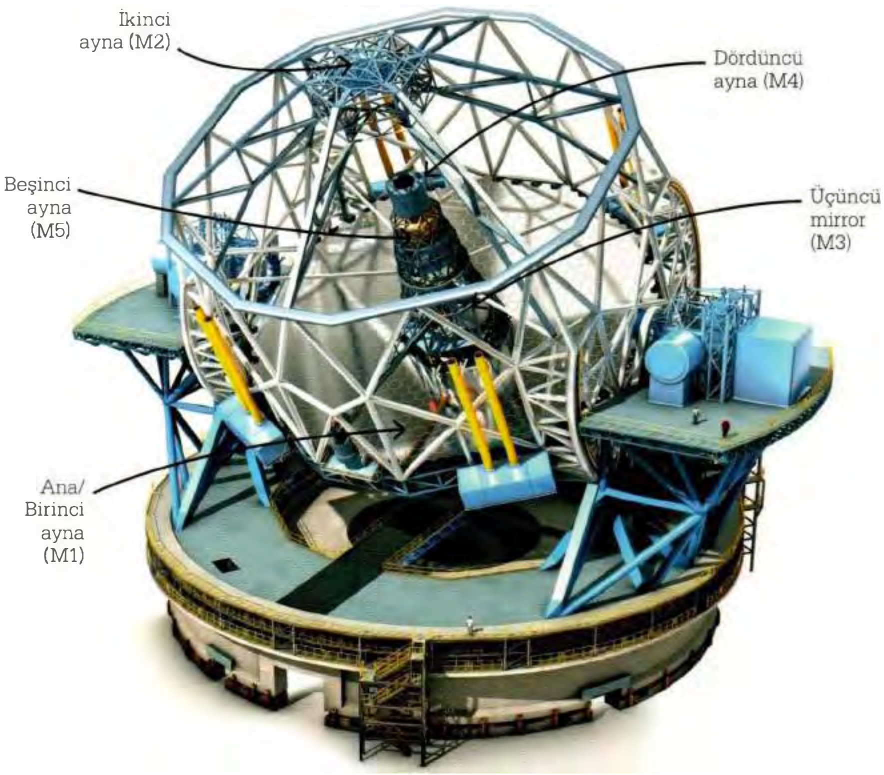
E-ELT kubbesi, bir sanatçının izlenimiyle çölde Güneş battığı sırada açılırken gösteriliyor. Tamamlanmış yapı 78 metre yüksekliğinde olacak.

Dev ayna

E-ELT'nin, bir futbol sahasının yarı büyüklüğünde bir kubbenin içine konulan sıra dışı beş-aynalı bir tasarımı vardır. Görünür (ve kızılaltına yakın) ışığı toplayan ana ayna (M1), 1,45 metre genişliğinde 798 altıgen parçadan oluşmuştur. Hep birlikte, bir uçtan diğer uca 39,3 metre olan bir ayna oluşturacaklar. Hubble'ın ana aynası ise, yalnızca 2,4 metre genişliğindedir; E-ELT'nin ikinci aynası (M2) bile, 4,2 metreyle ondan daha büyüktür.

M1'in şekli, sıcaklık değişikliklerinin ve teleskop farklı konumlara geçerken kütleçekim etkilerinin neden olduğu bozulmaları yok edecek şekilde ayarlanabilir. M2, M1'den gelen ışığı dördüncü aynadaki (M4) bir delikten üçüncü aynaya (M3) yönlendirir. Işık oradan tekrar M4'e, görüntünün atmosferik bulanıklaşmasını büyük ölçüde azaltan uyarlamalı optik aynaya yansır. M4, gökyüzüne bir lazer ateşlenerek yaratılan yapay bir "yıldız"ın pırıltısını izler. M4, altına yerleştirilen 8000 pistonu kullanarak saniyede 1000 kez şekil değiştirebilir. Başka bir ifadeyle, bu şaşırtıcı aynanın 798 parçası, herhangi bir atmosferik bozulmayı dengelemek için gerçek zamanda eğilip bükülebilir. Son olarak M5 görüntüyü kameraya yönlendirir.

E-ELT uzay teleskoplarından daha dar bir tayf bandını toplar ama bunu çok daha büyük ölçekte yapabilir. Sonuç olarak öte-gezegenleri, ön-gezegen disklerini (kimyalarıyla birlikte), kara delikleri ve ilk galaksileri öncekinden çok daha ayrıntılı bir biçimde görebilecek. ■



E-ELT'nin karmaşık ayna düzeninin kalbinde, ana aynanın devasa çukur tabakası yer alır. Var olan en büyük optik teleskopların 13 katından fazla ışık toplayacak ve altı adet lazer güdümlü yıldız birimle desteklenecek.

UZAY-ZAMANDA DALGACIKLAR

KÜTLEÇEKİM DALGALARI



KISACA

KURUM
LIGO (2016)

ÖNCE
1687 Isaac Newton, kütleçekimi kütleler arasında bir kuvvet olarak gören Evrensel çekim yasasını formüle eder.

1915 Albert Einstein kütleçekim kütlenin uzayzamanı bükmesi olarak açıklayan genel görelilik teorisini sunar, kütleçekim dalgalarının varlığının öngörür.

1960 Amerikalı fizikçi Joseph Weber kütleçekim dalgalarını ölçmeye girişir.

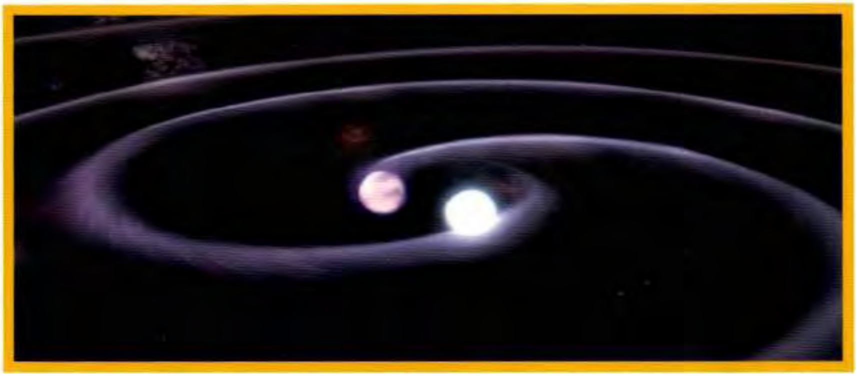
1984 Rai Weiss ve Kip Thorne LIGO'yu kurar.

SONRA
2034 eLISA'nın, aralarına lazer ateşlenen Güneş-merkezli yörüngelerde bulunan üç uzay aracını kullanarak kütleçekim dalgaları araması planlanır.

1916'da Albert Einstein görelilik teorisi üzerinde çalışırken, bir kütle hareket edince uzayzamanın dokusunda dalgacıklara neden olacağını öngördü. Her kütle bunu yapardı ama daha büyük kütleler daha büyük dalgalar yaratırdı; tıpkı bir göle atılan bir çakıl taşı giderek büyüyen bir dalgacık çemberi yaratırken, okyanusa çarpan bir meteorun tsunami büyüklüğünde dalgalar yaratması gibi.

2016'da, Einstein'ın öngörülerinden 100 yıl sonra, LIGO adı altında çalışan bir grup bilim insanı bu dalgacıkları ya da kütleçekim dalgalarını keşfettiklerini duyurdu. On yıllarca süren araştırmaları, birbirinin etrafında helezon çizen ve sonra çarpı-

Ayrıca bakınız: Kütleçekim teorisi 66-73 ▪ Görelilik teorisi 146-53



20 milisaniyelik bir zaman diliminde, LIGO'nun saptadığı iki kara delik, yörünge hızlarını saniyede 30 turdan çarpışmadan önce saniyede 250 tura çıkardı.

şan iki kara deliğin yarattığı tsunaminin kütleçekimsel eşdeğerini ortaya çıkarmıştı.

Kütleçekim dalgalarının keşfinin, Evren'i gözlemlemenin yeni bir yolunu sunacağı umuluyor. Astronomlar ışık ya da başka elektromanyetik ışınım kullanmak yerine, içeriğinin kütleçekimsel etkileriyle Evren'in haritasını çıkarmayı umuyorlar. Büyük Patlamadan 380.000 yıl sonrasına kadar erken Evren'in opak plazması da dahil, birçok yolla ışınım karardığı halde, kütleçekim dalgaları her şeyden geçer. Yani kütleçekimsel astronomi, zamanın tam başlangıcını, Büyük Patlamadan sonraki bir saniyenin trilyonda birinci anını görebilirdi.

Dalga davranışları

LIGO, Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory'nin (Lazer İnterferometre Kütleçekimsel-Dalga Gözlemevi) kısaltılmışıdır. Bizzat uzaydaki genişlemeleri ve büzülmeleri ölçme aletlerinden oluşur. Bu kolay bir iş değildir. Bir cetvel bunu yapamaz; çünkü uzay boyut bakımından değişince, cetvel de değişir, dolayısıyla gözlemci hiçbir değişikliği ölçemez. LIGO, uzay ne yaparsa yapsın sabit kalan ölçütü, ışık hızını, kullanmayı başardı. Işık bir dalga gibi davranır ama içinde yol alacağı bir ortam gerektirmez. Işık (ve her elektromanyetik ışınım türü) elektromanyetik bir alanın salınımıdır: Başka bir ifadeyle, ışık bütün uzaya yayılan bir alanda bir tedirginliktir.

Kütleçekim dalgaları, Evren'e yayılan kütleçekim alanında tedirginlikler olarak anlaşılabilir. Einstein, uzayı kendi etraflarında büken nesnelerin kütlesinin bu tedirginlikleri nasıl yarattığını açıkladı. "Kütleçekimin çekişi" olarak anlaşılan şey, bükülmüş uzayın bir bölgesiyle karşılaşınca devinimini değiştirip daha büyük bir kütleye doğru "düşüyor" gibi görünen küçük bir kütledir.

Bütün kütleler hareket halindedir –gezegenler, yıldızlar, hatta galaksiler– ve hareket ederken, arkalarında bir kütleçekimsel tedirginlikler silsilesi bırakırlar. Kütleçekim dalgaları ses dalgalarına benzer bir biçimde, içinde yol aldıkları ortamı bükerek yayılır. Ses dalgalarında bu ortam, salınacak şekilde meydana getirilen moleküllerden oluşur; kütleçekimdeyse, ortam uzayzamandır, bizzat Evren'in dokusudur. Einstein

Görelilik, kütleçekimin **uzayzamanın kütle tarafından bükülmesi** olduğunu açığa çıkarır.

↓

Hareket eden nesneler uzayzamanda dalgacıklar ya da kütleçekim dalgaları yaratır.

↓

Kütleçekim dalgaları, uzayzamanın **genişlemesi** ve **daralması** ölçülerek saptanabilir.

→

Kütleçekim dalgaları astronomların, **uzayın daha ilerisine bakmalarına** izin verir.

kütleçekim hızının ışık hızıyla aynı olacağını ve uzayzamandaki dalgacıkların her yönde dışa doğru hareket edeceğini öngördü. Bu dalgacıkların yoğunluğu uzaklıkla birlikte hızla azalır (uzaklığın karesi oranında); bu nedenle, uzayda çok uzakta bilinen bir nesneden gelen farklı bir kütleçekim dalgasını saptamak, çok güçlü bir dalga kaynağını ve çok hassas bir alet gerektirirdi.

Lazer-güdümlü

Adının da gösterdiği gibi, LIGO interferometri denilen bir teknik kullanır. Bu, dalgaların girişim denilen bir özelliğinden yararlanır. İki dalga karşılaştığında, birbirine karışıp tek bir dalga yaratır. Bunu nasıl yapacakları fazlarına –göreli salınım zamanlarına– bağlıdır. Dalgalar tam olarak eş fazlıysa –eşzamanlı yükselip alçalıyorsa– yapıcı bir biçimde birbirine girip kaynaşarak iki kat yoğunluklu bir dalga yaratır. Dalgalar tam olarak eş fazlı değilse –biri yükselirken diğeri alçalıyorsa– girişim yıkıcı olacaktır. İki dalga kaynaşıp birbirini siler, tamamen kaybolur. LIGO'nun dalga kaynağı, tek bir ışık rengi ya da dalga boyu içeren bir ışık demeti olan lazerdir. Ayrıca bir lazer demetindeki ışık uyumludur, yani bütün salınımları aynı tempodadır. Bu tür ışık demetlerinin, çok kesin biçimlerde birbirlerine karışmaları sağlanabilir.

Kütleçekim dalgaları olmadan, LIGO'nun ışık dalgaları, yeniden birleşince birbirini siler. Kütleçekim dalgaları bir tüpü uzatırken diğerini büzer; böylece dalgalar artık kusursuz hizalı olmaz ve bir sinyal üretilir.



Lazer demeti ikiye bölünür ve ortaya çıkan demetler, birbirlerine dik gönderilir. İkisi de bir aynaya çarpar ve doğrudan başlangıç noktasına geri yansır. Her bir demetin katettiği mesafe çok kesin bir biçimde kontrol edilir; öyle ki, demetlerden biri, diğerinden tam yarım dalga boyu daha ileri gitmek zorundadır (bir metrenin birkaç yüz milyarda biri bir farklılık). Demetler bir daha karşılaştığında, tamamen faz dışıdırlar, birbirine karışıp hemen kaybolurlar – demetler yol alırken, bir kütleçekim dalgası uzaydan geçmedikçe. Eğer varsa, bir kütleçekim dalgası bir lazer pistini uzatırken, diğerini kısaltır; böylece demetler, sonunda biraz değiştirilmiş mesafeleri kateder.

Gürültü filtresi

Lazer demetleri bölünüp, LIGO'nun 4 kilometrelik uzun kollarında 1.120 kilometrelik bir gidiş geliş yolculuğuna gönderilir, sonra demetler yeniden birleşir. Bu, LIGO'ya, uzayda bir protonun genişliğinin birkaç binde birini bulan küçük tedirginlikleri saptama duyarlılığı kazandırır. Çok hafif eşzamanlı olmayan mesafelerle, birbirine giren demetler artık birbirini silmez. Onun yerine titreşen bir ışık örüntüsü yaratırlar; bu da, LIGO'nun uzay köşesinden geçmekte olan bir kütleçekim dalgasına işaret edebilir.

Zor olan, böylesine hassas bir dedektörün, Dünya'nın yüzeyinden geçen sismik dalgalardan kaynaklanan bozulmalara yatkın olmasıydı. Bir lazer titreşiminin bir yer sarsıntısı olmadığından emin olmak için, Amerika Birleşik Devletleri'nin iki karşıt ucuna özdeş dedektörler kuruldu: biri Louisiana'ya diğeri Washington Eyaletine. Yalnızca her iki dedektörde kaydedilen sinyaller kütleçekim dalgalarıydı (sinyaller aslında 10 milisaniye araylıdır –ışığın ve kütleçekim dalgalarının Louisia-

Rai Weiss ve Kip Thorne

LIGO, Caltech ile MIT arasında bir işbirliğidir ve verilerini, Polonya'da ve Fransa'da yürütülen ve Virgo denilen benzer bir deneyle paylaşır. Kütleçekim dalgalarının keşfine yüzlerce araştırmacı katkıda bulunmuştur. Bununla birlikte, bunların arasında iki Amerikalı öne çıkar: Rainer "Rai" Weiss (1932-) ve Kip Thorne (1940-). Weiss 1967'de MIT'deyken, LIGO'nun kullandığı lazer interferometri tekniğini, lazerin mucitlerinden biri olan Joseph Weber'in ilk düşüncelerinden yararlanarak geliştirdi. 1984'te Weiss, Caltech'te görelilik teorisi konusunda önde gelen bir uzman olan Thorne ile birlikte LIGO'yu kurdu. LIGO, 1,1 milyar dolar cari maliyetle, ABD hükümetinin fon sağladığı en pahalı bilim projesidir. 32 yıllık çabadan sonra, 2016'da Weiss ve Thorne, Washington'da bir basın toplantısında kütleçekim dalgalarını keşfettiklerini duyurdular.



LIGO'nun hassas aletleri tamamen temiz tutulmalıdır. Lazer demetlerinin saflığını korumak, projenin en büyük meydan okumalarından biridir.

na'dan Washington'a gitmesi için geçen zaman). LIGO 2002'den 2010'a kadar herhangi bir başarı göstermeden çalıştı; sonra güçlendirilmiş hassasiyetle, 2015'te yeniden çalışmaya başladı.

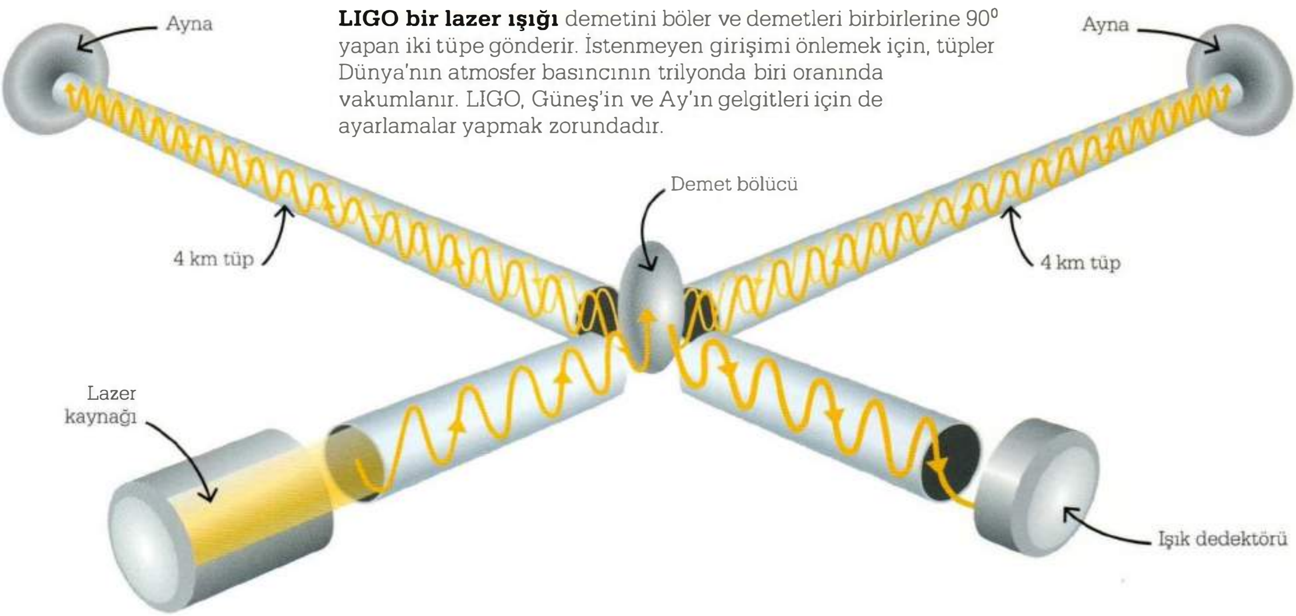
Çarpışan kara delikler

14 Eylül 2015'te, Greenwich saatiyle 9:50:45'te, bir milyar ışık yılı uzakta iki kara delik çarpıştı ve uzayın dokusunda büyük bükülmelerin önünü açtı. Aslında bu olay bir milyar yıl önce gerçekleşti ama saldığı dalgacıkların Dünya'ya –her iki LIGO dedektörünün onları saptadığı yere– ulaşması bu kadar uzun sürmüştü. Araştırmacılar, sonuçlarını kontrol etmek için birkaç ay daha süre aldı ve Şubat 2016'da kamuoyunun karşısına çıktılar.

Şimdi daha fazla kütleçekim dalgası aranıyor ve bunu yapmanın en iyi yeri uzaydır. Aralık 2015'te uzay aracı LISA Pathfinder fırlatıldı. Dünya ile Güneş arasında kütleçekim bakımından kararlı bir konum olan L1'de bir yörüngeye gidiyor. Orada uzay aracı, eLISA (gelişmiş Lazer İnterferometre Uzay Anteni) denilen iddialı bir deneyde kullanmak umuduyla, lazer interferometri aletlerini uzayda test edecekti. Geçici olarak 2034'e planlanan eLISA, Güneş'in etrafında nirengi oluşturan üç uzay aracı kullanacak. Uzay araçlarının arasına lazerler ateşlenip, 3 milyon kilometre uzunluğunda, kütleçekim dalgalarına LIGO'dan birkaç kat daha duyarlı bir lazer pisti oluşturulacak.

Kütleçekim dalgalarının keşfinin, astronomların Evren görüşünü dönüştürme potansiyeli vardır. LIGO'dan ve gelecek projelerden elde edilen ışık sinyallerindeki dalgalanma örüntüleri, yeni bilgiler üretecek, bütün Evren'de daha ayrıntılı bir kütle haritası sağlayacaktır. ■

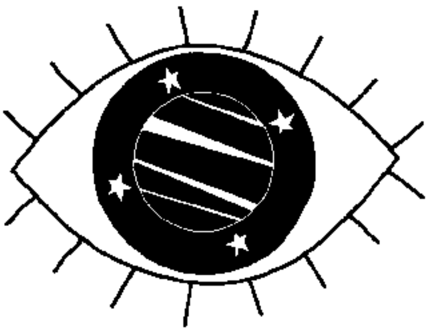
> Kütleçekim dalgaları bize kara deliklerin doğru haritalarını – onların uzayzaman haritalarını– getirecektir.
> **Kip Thorne**



LIGO bir lazer ışığı demetini böler ve demetleri birbirlerine 90⁰ yapan iki tüpe gönderir. İstenmeyen girişimi önlemek için, tüpler Dünya'nın atmosfer basıncının trilyonda biri oranında vakumlanır. LIGO, Güneş'in ve Ay'ın gelgitleri için de ayarlamalar yapmak zorundadır.

REHBER

REHBER



Astronomi gibi geniş bir araştırma alanında önemli her bilim insanını ana başlık olarak kitaba dahil etmek olanaklı olmadı. Aşağıdaki sayfalarda, MÖ 7. yüzyıldan bugüne kadar önemli katkılarda bulunan astronomlar sıralanıyor. İlk evrelerinde astronomi, genellikle gözlem ya da hesap yapan bireyleri ya da küçük grupları kapsamaktaydı. Bu arada, modern yüksek-teknolojili "büyük astronomi," çoğu kez yüzlerce ya da binlerce bilim insanının işbirliği yaptığı büyük ölçekli ortak çalışmaları gerektirmektedir. İster bir parçacık hızlandırıcıda deney yapmak için yer ayırtsınlar ister bir uzay teleskobunun belirli bir yöne çevrilmesini istesinler, bugünün astronomları, yarının büyük düşüncelerini geliştiren büyük bir topluluğun parçasını oluşturur.

MİLETOSLU ANAKSIMANDROS
MÖ 610–546

Yunan filozofa Anaksimandros, Evren'i rasyonel açıklama yönünde en eski girişimlerden birini gerçekleştirdi. Gök cisimlerinin Dünya'nın etrafında tam daire çizdiğini tahmin etti ve bu da, Dünya'nın uzayda serbest ve desteksiz yüzdüğü sonucuna varmasına yol açtı. Gök cisimlerinin birbirlerinin arkasında olduklarını da ifade etti; yani Evren'de derinlik vardı –ilk kaydedilmiş "uzay" düşünceci kavrayışı. Bununla birlikte, Anaksimandros gök cisimlerini yanlış sıraladı; yıldızların Dünya'ya en yakın gök cismi olduğuna, onları Ay'ın ve ardından Güneş'in izlediğine inanıyordu.

Ayrıca bakınız: Yer merkezli model, 20

ERATOSTHENES
MÖ Y. 276–Y. 194

Ünlü İskenderiye Kütüphanesinde üçüncü baş kütüphaneci olan Yunan bilgin Eratosthenes, coğrafyaya büyük katkılarda bulundu. Yaz ortasında İskenderiye'deki öğlen vakti gölgeyi Syene'dekiyle (bugünkü Aswan) karşılaştırarak Dünya'nın çevresini ölçtü. İki yer arasındaki mesafeyi biliyordu ve ölçümü, bütün çemberde bunun temsil ettiği oranı ortaya çıkarmasına olanak vermekteydi. Dünya'nın eksen eğriliğinin doğru bir ölçümünü de çıkardı, Güneş'e ve Ay'a uzaklıkları ölçtü, yılın uzunluğunu düzeltmek için artık günü buldu ve Dünya'nın ilk haritalarından birini yaptı.

Ayrıca bakınız: Bilgiyi pekiştirmek 24–25

ZU CHONGZHI
MÖ 429–500

İmparator Xiaowu tarafından yeni bir takvim çıkarmakla görevlendirilen Çinli matematikçi Zu Chongzhi yıldız yılının (Dünya'nın ardalan yıldızlara göre ölçülmüş dönüş periyodu), dönence yılın (birbirini izleyen bahar ekinoksları arası dönem) ve kameri ayın uzunluklarını oldukça doğru ölçtü. Hesaplamalarını kullanarak, dört Güneş tutulmasını doğru öngördü. Zu, Jüpiter yılını 11,858 Dünya yılı olarak ölçtü; bu, bugün kabul edilen rakamdan yüzde 0,1 küçüktür.

Ayrıca bakınız: Güneş yılı 28–29

EL-BATTANİ
Y. 858–929

Arap astronom ve matematikçi El-Battani doğru gözlemler yapıp, yılın uzunluğuna, yörünge eğimine ve ekinoks gerilemesine ilişkin rakamları düzeltti. Trigonometrik yöntemler geliştirip, Ptolemaios'un hesaplamalarını iyileştirdi ve Güneş'in Dünya'dan uzaklığının zamanla değiştiğini gösterdi. El-Battani'nin en etkili eseri 12. yüzyılda Latinceye çevrilen ve Copernicus'u büyük ölçüde etkileyen bir astronomik cetveller derlemesiydi.

Ayrıca bakınız: Bilgiyi pekiştirmek 24-25 ▪ Copernicus modeli 32-39

İBNÜ'L-HEYSEM
y. 965–1040

İbnü'l-Heysem Kahire'de Fatımi Halifeliğinin sarayında çalıştı. Varsayımların deneyle sınandığı bilimsel yöntemin öncülerinden olan İbnü'l-Heysem, Ptolemaios'un *Almagest*'ini popülerleştiren bir eser ve daha sonra Ptolemaios'un sistemine kuşku düşüren bir kitap yazdı.
Ayrıca bakınız: Bilgiyi pekiştirmek 24-25

ROBERT GROSSETESTE
y.1175–1253

İngiliz piskopos Robert Grosseteste optik, matematik ve astronomiyle ilgili incelemeler yazdı. Yunanca ve Arapça metinleri Latinceye çevirdi, Aristoteles'in ve Ptolemaios'un düşüncelerini ortaçağ Avrupa düşüncesine soktu. Eseri *De luce*'de (*Işık Üzerine*) Grosseteste, tek bir matematiksel yasalar kümesi kullanarak bütün Evren'i açıklama girişiminde bulundu. Işığa, Büyük Patlama teorisini hatırlatan bir açıklamayla, Evren'in her yönde yayılmasına olanak veren ilk varlık biçimi dedi.
Ayrıca bakınız: Yer-merkezli model 20 ▪ Bilgiyi pekiştirmek 24-25

JOHANNES HEVELIUS
1611–1687

ELISABETHA HEVELIUS
1647–1693

Polonyalı astronom Johannes Hevelius, evinin üstüne kurduğu bir gözlemevinden, Ay'ın yüzeyinin ayrıntılı haritalarını çıkardı. Teleskop yapmasına ve kullanmasına rağmen, yalnızca bir sekstantla ve çıplak gözle yıldızların konumlarının haritasını çıkarmayı tercih etti – bunu yapan son büyük astronom. Hevelius'un 1663'te evlendiği ikinci karısı Elisabetha, 1500'den fazla yıldızın yer aldığı bir katalog hazırlamasına yardım etti, kocası öldükten sonra da tamamlayıp yayımladı. Kendisi de yorulmaz ve becerikli bir gözlemci olan Elisabetha, dikkate değer ilk kadın astronomlardan biriydi.
Ayrıca bakınız: Tycho modeli 44-47

CHRISTIAAN HUYGENS
1629–1695

Felemenk matematikçi ve astronom Christiaan Huygens, Satürn'e ve teleskopların gösterdiğine göre her iki tarafından çıkan tuhaf "kulplara" merak sardı. Kardeşi Constantijn'le birlikte, gelişmiş mercekli güçlü bir teleskop yapıp, gezegeni inceledi. Huygens, Satürn halkalarının doğru şeklini tarif eden ilk kişiydi; ince ve yassı, gezegenin yörünge düzlemine 20 derecelik bir açıyla eğik olduklarını açıkladı. Bulgularını 1659'da *Systema Saturnium* kitabında yayımladı. Dört yıl önce, Satürn'ün en büyük uydusu Titan'ı keşfetmişti.
Ayrıca bakınız: Satürn'ün halkalarını gözlemlemek 65

OLE RØMER
1644–1710

Paris Gözlemevinde çalışan Danimarkalı astronom Ole Rømer, ışığın sonlu bir hızı olduğunu tanıtladı. Rømer, Jüpiter uydularının tutulmalarını kullanarak günün zamanını hesaplama projesinde çalışıyordu –denizde boylamı ölçme sorununu çözmek için ilk kez Galileo'nun önerdiği bir yöntem. Yıllar içinde Rømer, Io uydusunun tutulma zamanlarını dikkatli bir biçimde ölçtü ve tutulma süresinin, Dünya'nın Jüpiter'e doğru gitmesine ya da ondan uzaklaşmasına bağlı olarak değiştiğini fark etti. Bu değişikliğin, Io'dan çıkan ışığın Dünya'ya ulaşmak için geçen zaman farkından kaynaklandığı sonucunu çıkardı ve ışığın, Dünya'nın Güneş'in etrafındaki yörüngesinin çapına eşit bir mesafeyi 22 dakikada katettiğini hesapladı. Bu sonuç, ışığın hızını saniyede 220.000 kilometre olarak vermekteydi – gerçek değerin yaklaşık yüzde 75'i. Rømer'in ışığın sonlu bir hızı olduğu bulgusu, 1726'da, James Bradley yıldız sapıncı fenomenini ışık hızı bakımından açıklayınca doğrulandı.
Ayrıca bakınız: Yıldız sapıncı 78

JOHN MICHELL
1724–1793

İngiliz din adamı John Michell sismoloji, manyetizma ve kütleçekim de dahil, farklı bilimsel alanlarda incelemeler yaptı. Daha sonra arkadaşı Henry Cavendish'in kütleçekim gücünü ölçmek için kullandığı burma terazisini tasarladı. Michell, bir nesnenin, kütleçekiminden ışık kaçamayacak kadar kütleli olabileceğini öne süren ilk kişiydi. Güneş'in 500 katı büyüklüğünde bir yıldızın böyle bir nesne olabileceğini hesapladı ve buna "karanlık yıldız" dedi. Michell'in düşüncesi, astronomların kara delik kavramını ciddiye almaya başladığı 20. yüzyıla kadar unutuldu.
Ayrıca bakınız: Uzayzamanda eğriler 154-55 ▪ Hawking ışınımı 255

JOSEPH-LOUIS LAGRANGE
1736–1813

Fransız-İtalyan matematikçi ve astronom Joseph-Louis Lagrange, gök mekaniğini ve kütleçekimin etkilerini inceledi. Güneş, Dünya ve Ay gibi, üç cisimli bir sistemde kütleçekimlerinin nasıl birbiriyle birleştiğini matematiksel olarak araştırdı. Çalışması, iki büyük cismin yörüngesinde dönen küçük bir cisim için kararlı yörünge konumlarının keşfine yol açtı; bu konumlara şimdi Lagrange noktaları deniliyor. Uzay teleskopları, Dünya'nın ve Güneş'in etrafındaki yörüngeleri için çoğunlukla Lagrange noktalarına yerleştirilir.
Ayrıca bakınız: Kütleçekim teorisi 66-73 ▪ Uzak yıldızları incelemek 304-05

JEAN BAPTISTE JOSEPH DELAMBRE
1736–1813

Fransız Devrimi sırasında bilim çevrelerinde önde gelen bir şahsiyet olan Delambre, 1792'de, Dunkirk'ten Barselona'ya kadar meridyen yayının uzunluğunu ölçmekle görevlendirildi. Bu, metreyi Kuzey Kutbundan ekvatora kadar olan uzaklığın 1/10.000.000'u olarak tanımlayan yeni metrik sistemi arıtmak içindi. Görevini 1798'de tamamladı. 1804'ten itibaren Delambre, Paris Gözlemevinin müdürlüğünü yaptı. Astronomik çalışmaları arasında, Jüpiter'in uydularının konumlarını gösteren doğru cetvellerin üretilmesi de vardı. 1809'da Güneş'ten çıkan ışığın Dünya'ya 8 dakika 12 saniyede ulaştığını hesapladı (şimdi ölçülen rakam, 8 dakika 20 saniyedir).
Ayrıca bakınız: Kütleçekim tedirginlikleri 92-93

BENJAMIN APTHORP GOULD
1824–1896

Amerikalı dâhi çocuk Benjamin Apthorp Gould, Harvard Üniversitesinden mezun olduktan sonra, 1845'de Almanya'ya taşınıp ünlü matematikçi Friedrich Gauss'tan ders aldı. Avrupa'da astronomide doktora derecesi aldı –bu alanda doktora yapan ilk Amerikalı. 1849'da ABD'ye döndü ve Amerikan astronomisinin profilini yükseltmeye karar verdi. Bu amaçla, Amerika Birleşik Devletleri'nden araştırmalar yayımlayacak *The Astronomical Journal*'ı kurdu; dergi bugün de varlığını sürdürmektedir. 1868 ile 1885 arasında Gould Arjantin'de çalıştı; Cordoba'da Ulusal Gözlemevini kurdu. Arjantin Ulusal Hava Ajansının kurulmasına da yardım etti. Gould, güney yarımküreden görülen parlak yıldızların kapsamlı bir kataloğunu çıkardı ve 1879'da *Uranometria Argentina* olarak yayımladı.

RICHARD CARRINGTON
1826–1875

Britanyalı amatör astronom Richard Carrington yıllarca Güneş'i gözlemledi. 1859'da bir güneş püskürtüsünü –Güneş yüzeyinde meydana gelen ve görünür ışık akınına neden olan manyetik bir patlama– gözlemleyen ilk kişi oldu. Patlamadan sonra dünya çapında telgraf sisteminde bir kesinti oldu ve Carrington, böyle bir Güneş etkinliğinin Dünya'da elektriksel bir etki yaratabileceğini öne sürdü. 1863'te, Güneş lekelerinin hareketine ilişkin tuttuğu kayıtlarla, Güneş'in farklı bölümlerinin farklı hızlarda döndüğünü tanıtladı.
Ayrıca bakınız: Galileo'nun teleskobu 56-63 ▪ Güneş'in yüzeyi 103

ISAAC ROBERTS
1829–1904

1880'lerde Britanyalı amatör astronom Isaac Roberts astronomi fotoğrafçılığı alanında önemli ilerlemeler kaydetti; gece gökyüzü fotoğraflarının, çıplak gözle görülmeyen yapıları açığa çıkarmasını ilk kez olanaklı kıldı. Roberts, çok uzun ışıklama zamanına ve dolayısıyla daha fazla ışık toplanmasına olanak veren bir alet geliştirdi. Dünya'nın dönüşünü telafi edecek şekilde ayarladığı teleskobu, gökyüzünde sürekli aynı noktaya doğru tuttu. Roberts'in en ünlü görüntüsü, 1888'de, şimdi galaksi olduğu bilinen Andromeda bulutsusunun bir fotoğrafıdır; bulutsunun sarmal yapısını, eşi görülmemiş ölçüde ayrıntılı ortaya çıkarmaktaydı.
Ayrıca bakınız: Astronomi fotoğrafçılığı 118-19

HENRY DRAPER
1837–1882

Astronomi fotoğrafçılığının öncülerinden olan tıp doktoru Henry Draper, 1873'te New York Üniversitesinde tıp dekanlığından

istifa edip, kendini astronomiye adadı. Karısı Anna Mary'nin yardımıyla Draper, 1873'te Venüs'ün geçişini fotoğrafladı, 1880'de Orion bulutsusunu kamerayla yakalayan ilk kişi oldu ve yine 1881'de, bir kuyrukluyıldızın kuyruğunun geniş açılı fotoğrafını çeken ilk kişi oldu. Astronomi fotoğrafçılığı için yeni teknikler geliştirdi ama 1882'de, astronomlar bir keşif aracı olarak fotoğrafçılığı ciddiye almaya başlamadan birkaç yıl önce, akciğer zarı iltihabından öldü. Ölümünden sonra karısının onun adına kurduğu vakıf, Edward C. Pickering ve kadınlardan oluşan ekibinin gerçekleştirdiği büyük bir fotoğraflı yıldız araştırması olan Henry Draper Kataloğuna mali destek sağladı.
Ayrıca bakınız: Yıldız kataloğu 120-21 ▪ Yıldızların karakteristikleri 122-27

JACOBUS KAPTEYN
1851–1922

Güney Afrika'dan David Gill'in kendisine tedarik ettiği fotoğraf plakalarını inceleyen Hollandalı astronom Jacobus Kapteyn 450.000'den fazla güney yıldızını katalogladı. Galaksinin farklı bölümlerindeki yıldızları gruplandırıp kadirlerini, ışınsal hızlarını ve özdevinimlerini ölçtükten sonra Kapteyn, yıldız akıntısı fenomenini –yıldız devinimlerinin rastgele olmadığını, iki karşıt yönde toplandıkların gösteren– açığa çıkaran kapsamlı bir istatistiksel analiz gerçekleştirdi. Bu, Samanyolu galaksisinin döndüğünün ilk kesin kanıtıydı.
Ayrıca bakınız: Astronomi fotoğrafçılığı 118-19

EDWARD WALTER MAUNDER
1851–1928

ANNIE SCOTT DILL MAUNDER
1868–1947

Britanyalı karı koca ekip Edward Walter Maunder ve Annie Maunder (kızlık soyadı Scott Dill), Greenwich Kraliyet Gözlemevinde birlikte Güneş'i inceledi. Güneş lekelerine ilişkin araştırmaları, lekelerin sayısı ile Dünya'nın iklimi arasında bir bağıntı ortaya çıkardı. Bu, 1645 ile 1715 arasında Güneş'in etkinliğinde bir azalma dönemi keşfetmelerine yol açtı –Avrupa'da ortalamadan düşük sıcaklıklarla örtüşen bu döneme şimdi Maunder Minimumu deniliyor. Cemiyetlerde kadın yasağı 1916'da kaldırılınca, Annie Maunder Kraliyet Astronomi Derneği üyeliğine seçildi ve ondan sonra gözlemlerini kendi adıyla yayımladı. Ondan önce çalışmalarının çoğu, kocasının adıyla çıkan makalelerde yer almıştı.
Ayrıca bakınız: Güneş'in yüzeyi 103. Güneş lekelerinin öznitelikleri 129

E. E. BARNARD
1857–1923

ABD'li astronom Edward Emerson Bernard 30 kadar yeni kuyrukluyıldız ve çok sayıda bulutsu keşfeden ünlü bir gözlemciydi. 1892'de Bernard, Jüpiter'in etrafında Amalthea denilen beşinci uyduyu keşfetti; bu, fotoğraf plakalarıyla değil daha çok görsel gözlemle keşfedilecek son uyduydu. Astronomi fotoğrafçılığında bir öncü olan Bernard, Samanyolu'nun bir dizi uzun-poz fotoğrafını çekti; bu fotoğraflar, öldükten sonra 1927'de *Atlas of Selected Regions of the Milky Way* olarak yayımlandı. Bernard yıldızı adını ondan alır; 1916'da bu soluk kırmızı cücenin, bilinen bütün yıldızlar arasında en büyük özdevinime (bir yıldızın gök kürede konumunu değiştirme oranı) sahip olduğunu keşfetti.
Ayrıca bakınız: Galileo'nun teleskobu 56-63 ▪ Astronomi fotoğrafçılığı 118-19

HEBER D. CURTIS
1872–1942

Amerikalı profesör Heber Dust Curtis 1900'de, California'da Lick Gözlemevi için gönüllü gözlemci olunca astronomiye kaydı. 1902'de astronomi alanında doktora yaptıktan sonra Curtis, Lick Gözlemeviyle uzun bir birliktelik yaşadı, bilinen bulutsulara ilişkin 1918'de tamamladığı ayrıntılı bir araştırma yürüttü. 1920'de, Smithsonian Müzesinde astronom arkadaşı Harlow Shapley'le "Büyük Tartışma"ya girdi. Curtis, uzak bulutsuların Samanyolu'ndan çok uzakta ayrı galaksi olduklarını savundu; Shapley ise, Samanyolu'nun içinde olduklarını iddia etti.
Ayrıca bakınız: Sarmal galaksiler 156-61 ▪ Samanyolu'nun ötesi 172-77

JAMES JEANS
1877–1946

Britanyalı matematikçi James Jeans, astrofizikle ilgili teorik sorunlar üzerine çalıştı. 1902'de bir yıldızlararası gaz bulutunun istikrarsızlaşıp çökerek yeni bir yıldız oluşturduğu koşulları hesapladı.

1916'da kendi gaz teorisini geliştirirken, gaz atomlarının zaman içinde bir gezegenin atmosferinden kademe kademe nasıl kaçabildiklerini açıkladı. İlerleyen zamanda Jeans zamanını yazmaya adadı ve aralarında *Through Space and Time* ve *The Stars in Their Courses* de bulunan dokuz popüler kitabıyla ünlendi. "Büyük bir makineden çok büyük bir düşünceye yakın" olarak tarif ettiği Evren'i anlamada hem zihni hem de maddeyi merkezi önemde gören idealist bir felsefe geliştirdi.
Ayrıca bakınız: Dev molekül bulutlarının içinde 276-79

ERNST ÖPİK
1893–1985

Estonyalı astrofizikçi Ernst Öpik doktora derecesini, Estonya'da 1921'den 1944'e kadar çalıştığı Tartu Üniversitesinde aldı; asteroidler, kuyrukluyıldızlar ve meteorlar gibi küçük nesnelerin incelenmesinde uzmanlaştı. 1922'de, galaksinin dönüş hızına dayanan yeni bir yöntem kullanarak Andromeda galaksisinin uzaklığını hesapladı. Bu yöntem, bugün hâlâ kullanılır. Öpik, kuyrukluyıldızların Plüton'un ötesinde bir buluttan geldiğini öne sürdü; bu buluta şimdi genellikle Oort bulutu ama bazen Öpik-Oort bulutu da denilir. 1944'te Kızıl Ordu Estonya'ya yaklaşınca, Öpik ülke dışına kaçtı; sonunda Kuzey İrlanda'ya yerleşip, Armagh Gözlemevinde çalıştı.
Ayrıca bakınız: Oort bulutu 206

CLYDE TOMBAUGH
1906–1997

1920'lerin sonunda Arizona'daki Lowell Gözlemevi, Uranüs'ün yörüngesinde tedirginliklere neden olduğuna inanılan bir gezegeni sistematik olarak aramaya başladı. Bunun için, gözlemevi müdürü Vesto Slipher, ev yapımı bir teleskop kullanarak yaptığı Jüpiter ve Mars çizimlerinden etkilendiği genç amatör astronom Clyde Tombaugh'u işe aldı. Tombaugh 10 ay fotoğrafları inceledikten sonra, 18 Şubat 1930'da, Neptün'ün ötesinde Güneş'in yörüngesinde dönen bir nesne keşfetti. Roma yeraltı tanrısının adı verilen Plüton başlangıçta dokuzuncu gezegen olarak sınıflandırıldı ama daha sonra cüce gezegen statüsüne indirildi. Bu keşiften sonra Tombaugh bir diploma aldı ve profesyonel astronom olarak yaşamını sürdürdü.
Ayrıca bakınız: Sarmal galaksiler 156-61 ▪ Plüton'u incelemek 314-17

VICTOR AMBARTSUMIAN
1908–1996

Sovyet-Ermeni astronom Victor Ambartsumian, teorik astrofizik alanında kurucu şahsiyetlerden biriydi; yıldız oluşumu ve galaksi evrimi teorilerine katkıda bulundu. Genç yıldızların ön-yıldızlardan oluştuğunu öne süren ilk kişilerden biriydi. 1946'da, Ermenistan'da 1988'e kadar müdürlüğünü yaptığı Byurakan Gözlemevinin yapımını örgütledi. 1961'den 1964'e kadar Uluslararası Astronomi Birliğinin başkanlığını yürüttü; dünya-dışı yaşam arayışı üzerine birçok konferansa ev sahipliği yaptı.
Ayrıca bakınız: Yoğun molekül bulutları 200-01 ▪ Dev molekül bulutlarının içinde 276-79

GROTE REBER
1911–2002

1937'de Amerikalı radyo mühendisi Grote Reber, Karl Jansky'nin galaktik radyo dalgalarını keşfettiğini işittikten sonra, arka bahçesinde kendi radyo teleskobunu kurdu. Sonraki birkaç yılda Reber, dünyada gökyüzünün ilk radyo araştırmasını yürüten ve bulgularını astronomi ve mühendislik dergilerinde yayımlayan tek radyo astronomuydu. Reber'in işi, II. Dünya Savaşı bittikten sonra radyo astronomisinin gelişimine temel oluşturmaktı. Daha berrak atmosfer koşullarında daha ileri radyo araştırmaları yürütmek için 1954'te Tasmanya'ya taşındı ve ömrünün sonuna kadar orada kaldı.
Ayrıca bakınız: Radyo astronomi 179

IOSIF SHKLOVSKY
1916–1985

1962'de Sovyet astrofizikçi Iosif Shklovsky dünya-dışı yaşam olasılığını inceleyen popüler bir kitap yazdı; kitap dört yıl sonra, Carl Sagan'ın eş yazarlığını yaptığı genişletilmiş bir basımla *Intelligent Life in the Universe* (*Evren'de Akıllı Yaşam*) olarak yeniden yayımlandı. Bu son basımda, iki yazarın yazdığı paragraflar almaşıktır; Shklovsky'nin özgün saptamaları üzerine Sagan bir yorum ve açıklama sunar. Sagan'ın düşüncelerinin birçoğu oldukça spekülatiftir; Mars'ın uydusu Phobos'un gözlemlenen hızlanmasının, içi boş yapay bir yapı, çok önce bitmiş bir Mars uygarlığının anıtı olmasından kaynaklandığı önerisi, bunlardan biridir.
Ayrıca bakınız: Diğer gezegenlerde yaşam 228-35

MARTIN RYLE
1918–1984

Birçok öncü radyo astronom gibi Briton Martin Ryle de meslek

yaşamına, II. Dünya Savaşı sırasında radar teknolojisi geliştirerek başladı. Daha sonra, Cambridge'de Cavendish Radyo Astronomi Grubuna katıldı; orada Antony Hewish ve Jocelyn Bell Burnell'in yanında çalışıp, radyo astronomide yeni teknikler geliştirdi ve çok sayıda radyo kaynağı kataloğu çıkardılar. Savaş deneyiminden derin etkilenen Ryle, son yıllarını bilimin barışçı kullanımını desteklemeye adadı; nükleer silahların ve gücün tehlikeleri konusunda uyarılarda bulundu ve alternatif enerji arayışlarını savundu.
Ayrıca bakınız: Radyo astronomi 179 ▪ Kuasarlar ve pulsarlar 236-39

HALTON ARP
1927–2013

California'da Wilson Dağı Gözlemevinde neredeyse 30 yıl kadrolu astronom olan Halton Arp, yetenekli bir gözlemci olarak ün kazandı. 1966'da, ilk kez yakın galaksilerde görülen yüzlerce tuhaf yapıyı kataloglayan *Atlas of Peculiar Galaxies*'i çıkardı. Bugün, bu özelliklerden birçoğunun galaksilerin çarpışmasının sonucu olduğu biliniyor. Sonraki kariyerinde, Büyük Patlama teorisine kuşku düşürünce mesleki açıdan marjinalleşti. Kızıla kayma dereceleri çok farklı olan nesnelerin birbirine yakın olduklarını ve müthiş uzak olmadıklarını savundu.
Ayrıca bakınız: Samanyolu'nun ötesi 172-77

ROGER PENROSE
1931–

1960'larda Britanyalı matematikçi ve fizikçi Roger Penrose, bir kara deliğin etrafındaki uzayzaman eğriliğiyle ilgili karmaşık matematiğin çoğunu halletti. Stephen Hawking'le işbirliği içinde, bir kara deliğin içindeki maddenin bir tekilliğe nasıl çöktüğünü gösterdi. Daha yakın zamanda Penrose, bir Evren'in ısıl denge durumunun (son durum) başka bir Evren'in Büyük Patlamasının koşullarını ürettiği döngüsel bir kozmoloji teorisi önerdi. Penrose, Evren'in fiziğini açıkladığı ve bilincin kökenine ilişkin yeni açıklamalar öne sürdüğü bir dizi popüler bilim kitabı da çıkardı.
Ayrıca bakınız: Uzayzamanda eğriler 154-55 ▪ Hawking ışınımı 255

SHIV S. KUMAR
1939–

Hint asıllı astronom Shiv S. Kumar, Michigan Üniversitesinde astronomi dalında doktora yaptı ve Amerika Birleşik Devletleri'nde, Güneş Sisteminin kökeni, Evren'de yaşamın gelişimi ve öte-gezegenler gibi konularla ilgili teorik sorunlar üzerinde çalışarak kariyer yaptı. 1962'de Kumar, nükleer füzyonu sürdüremeyecek kadar küçük olan düşük-kütleli yıldızların varlığını öngördü. Daha sonra Jill Tarter'in kahverengi cüceler adını verdiği bu yıldızların varlığı, 1995'te doğrulandı.
Ayrıca bakınız: Öte-gezegenler 288-95

BRANDON CARTER
1942–

1974'te Avustralyalı fizikçi Brandon Carter, insanoğlunun var olması için Evren'in belli özelliklere zorunlu olarak sahip olması gerektiğini ifade eden antropik ilkeyi formüle etti. Yani, Temel kuvvetlerin gücü gibi, Evren'in fiziksel öznitelikleri, yaşamın gelişmesini destekleyebilen Güneş benzeri yıldızlar için çok dar sınırlar içinde olmalıdır. Carter 1986'dan beri Paris-Meudon Gözlemevinde araştırma müdürüdür. Kara deliklerin özniteliklerinin anlaşılmasına da katkılarda bulundu.
Ayrıca bakınız: Diğer gezegenlerde yaşam 228-35 ▪ Hawking ışınımı 255

JILL TARTER
1944–

California'da SETI Araştırma Merkezinin müdürü olarak Jill Tarter, 2012'de emekli olmadan önce 30 yıldan fazla bir süre boyunca dünya-dışı yaşam arayışında önde gelen bir şahsiyetti. 1975'te, Shiv S. Kumar'ın keşfettiği, nükleer füzyonu sürdürmeye yetecek kütleye sahip olmayan yıldız tipi için "kahverengi cüce" terimini uydurdu. Carl Sagan romanı ve filmi *Contact*'ta başkahramanı Tarter'a dayandırdı.
Ayrıca bakınız: Diğer gezegenlerde yaşam 228-35

MAX TEGMARK
1967–

İsveçli kozmolog Max Tegmark'ın MIT'deki araştırmaları, kozmik mikrodalga ardalan araştırmalarının ürettiği çok büyük miktarda veriyi analiz etme yöntemleri geliştirmeye odaklandı. Tegmark, kuantum mekaniği sonuçlarının en iyi çoklu Evren'lerin varlığıyla açıklandığını öne süren düşüncenin önde gelen savunucusudur. Evren'in en iyi saf matematiksel bir yapı olarak anlaşıldığını öne süren matematiksel Evren varsayımını geliştirdi.
Ayrıca bakınız: CMB'yi gözlemlemek 280-85

SÖZLÜK

Ana sekans *Bkz.* cüce yıldız.

Asteroid Bağımsız olarak Güneş'in yörüngesinde dönen küçük bir cisim. Asteroidler Güneş Sisteminin her tarafında bulunur; en büyük yoğunluk, Mars'ın ve Jüpiter'in yörüngeleri arasındaki asteroid kuşağındadır. Çapları birkaç metreden 1000 kilometreye kadar değişir.

Astronomik birim (AU): Dünya ile Güneş arasındaki ortalama uzaklığa eşit mesafe. 1 AU = 149.598.000 km.

Atomaltı parçacık Atomdan daha küçük olan parçacık türlerinden biri. Bunlar elektronları, nötrinoları ve kuarkları kapsar.

Aynalı teleskop Kavisli bir aynaya ışık yansıtarak görüntü oluşturan teleskop.

Beyaz cüce Kütleçekimiyle Dünya'nınkine yakın bir yarıçapa kadar büzülen, aydınlatma gücü düşük ama yüzey sıcaklığı yüksek yıldız.

Birikim Küçük parçacıkların ya da cisimlerin çarpışarak ve bir araya gelerek daha büyük cisimler oluşturma süreci.

Bok kürecikleri İçinde yeni yıldızlar oluşan küçük, karanlık, soğuk gaz ve toz bulutları.

Bulutsu Yıldızlararası uzayda bir gaz ve toz bulutu. 20. yüzyıldan önce, gökyüzünde dağınık her nesne bulutsu olarak bilinirdi; şimdi bunların birçoğunun galaksi olduğu biliniyor.

Burçlar kuşağı Gök kürenin etrafında, tutulma çemberinin her tarafında 9^0 uzanan, Güneş'in, Ay'ın ve gezegenlerin içinde geçiyor gibi göründüğü kuşak. Burçlar kuşağı, "burçlara" karşılık gelen takımyıldızlardan geçer.

Büyük Patlama Evren'in geçmişte belirli bir zamanda sıcak, yoğun bir ilk durumdan başlamasına neden olduğu düşünülen olay.

Cüce gezegen Bir yıldızın yörüngesinde, küresel bir şekil oluşturacak kadar büyük ama yörünge yolunu diğer malzemelerden temizlememiş olan nesne. Güneş Sistemindeki örnekleri Plüton ve Ceres'tir.

Cüce yıldız Ana sekans yıldızı da denilir; hidrojeni helyuma dönüştürerek parlayan yıldız. Yıldızların yaklaşık yüzde 90'ı cüce yıldızdır.

Çemberli küre Gök küreyi modelleyen bir alet. Merkezinde Dünya ya da Güneş vardır; onun etrafında gök enlem ve boylam çizgilerini temsil eden halkalardan oluşan bir çerçeve vardır.

Dalga boyu Bir dalgada birbirini izleyen tepeler ya da çukurlar arasındaki mesafe.

Doppler etkisi Işınım frekansında, ışınım kaynağına göre devinim halinde olan bir gözlemcinin deneyimlediği değişim.

Ekinoks Yılda iki kez Güneş'in bir gezegenin ekvatoruna dik geldiği durum; bu sırada bütün gezegende gece ile gündüz kabaca eşit süreli olur.

Elektromanyetik ışınım Salınımlı elektrik ve manyetik tedirginlikler biçiminde uzayda enerji taşıyan dalgalar. Elektromanyetik tayf kısa, yüksek-enerjili gama ışınlarından uzun, düşük-enerjili radyo dalgalarına kadar uzanır ve görünür tayfları da kapsar.

Elektron Negatif yüklü atomaltı parçacık. Bir atomda elektron bulutu, merkezi, pozitif yüklü bir çekirdeğin etrafında döner.

Fraunhofer çizgileri Güneş'in tayfında bulunan, ilk kez 19. yüzyılda Alman Joseph van Fraunhofer tarafından tanımlanan karanlık soğurma çizgileri.

Galaksi Kütleçekimle bir arada tutulan yıldızlardan, gaz ve toz bulutlarından oluşan büyük topluluk.

Galileo uydusu Jüpiter'in ilk kez 1610'da Galileo tarafından keşfedilen en büyük dört uydusundan biri.

Geçiş Bir gök cisminin daha büyük bir cismin önünden geçmesi.

Genel görelilik teorisi Kütleçekimi kütlenin varlığıyla bir uzayzaman eğrilmesi olarak tanımlayan teori. 1916'da Albert Einstein'ın formüle ettiği teorinin,

kütleçekim dalgaları gibi birçok öngörüsü deneysel olarak doğrulanmıştır.

Gezegen Güneş gibi bir yıldızın yörüngesinde dönen, küre şeklini alacak kadar büyük ve çevresini daha küçük nesnelerden temizlemiş ışık çıkarmayan cisim.

Gezegenimsi Kayadan ya da buzdan küçük bir cisim. Gezegenler, birikme süreciyle birleşen gezegenimsilerden oluştu.

Gök küre Dünya'nın etrafını saran hayali küre. Yıldızların ve diğer gök cisimlerinin konumları, bu küreye bağlı oldukları düşünülürse, küredeki yerlerine göre tanımlanabilir.

Görelilik Albert Einstein'ın uzayın ve zamanın doğasını açıklamak için geliştirdiği teoriler. Ayrıca *bkz.* genel görelilik teorisi.

Görünür kadir Bir yıldızın Dünya'dan görülen parlaklığının ölçüsü. Nesne ne kadar soluksa, görünür kadrinin değeri o kadar yüksektir. Çıplak gözle görülen en soluk yıldızlar 6 kadirliktir.

Günberi Bir gezegenin, asteroidin ya da kuyrukluyıldızın Güneş'in etrafındaki eliptik yörüngesinde Güneş'e en yakın olduğu nokta.

Güneş lekesi Güneş'in yüzeyinde, çevresinden daha soğuk olduğu için koyu görünen bir bölge. Güneş lekeleri, yoğun manyetik alan bölgelerinde bulunur.

Güneş rüzgârı Güneş'ten çıkıp Güneş Sistemine akan, hızlı hareket eden yüklü parçacık akıntısı. Büyük ölçüde elektronlardan ve protonlardan oluşur.

Güneş-merkezli Merkezinde Güneş varmış gibi ele alınan bir sistem ya da yörünge.

Günöte Güneş'in etrafındaki eliptik yörüngesinde bir gezegenin, asteroidin ya da kuyrukluyıldızın Güneş'ten en uzak olduğu nokta.

Harvard Tayf Sınıflandırması İlk kez 19. yüzyılın sonlarında Harvard Gözlemevi tarafından yıldızları tayflarının görünüşüne göre sınıflandırmak için tasarlanan bir şema.

Hertzsprung-Russell diyagramı Yıldızların aydınlatma güçlerine ve yüzey sıcaklıklarına göre yerleştirildiği bir saçılım diyagramı.

Hubble yasası Kızıla kaymalar ile galaksilerin uzaklığı arasında, galaksilerin uzaklıklarıyla orantılı bir hızla uzaklaştıklarını gösteren gözlemlenmiş ilişki. İlişkiyi ölçen sayıya Hubble sabiti (H_0) denilir.

Işık yılı (Iy) Işığın bir yılda katettiği mesafe olan uzaklık birimi; 9.460 milyar kilometreye eşittir.

Işınsal hız Bir yıldızın ya da başka bir cismin hızının, gözlemciye doğrudan yaklaşan ya da gözlemciden doğrudan uzaklaşan görüş hattı boyunca bileşeni.

İyonlaşma Bir atomun ya da molekülün elektron kazanıp ya da kaybedip pozitif ya da negatif bir yük kazanma süreci. Sonuçta ortaya çıkan yüklü parçacıklara iyon denilir.

Kahverengi cüce Kendi çekirdeğinde nükleer füzyonu sürdürmeye yetecek kütlesi olmayan yıldıza benzer gaz topu.

Kara cisim Üzerine düşen bütün ışınımı soğuran, hiçbir şey yansıtmayan teorik, ideal bir cisim. Bir kara cisim, sıcaklığına bağlı olarak belirli bir dalga boyunda bir doruklu ışınım tayfı yayar.

Kara delik Hiçbir kütle ya da ışınım kütleçekimden kaçamayacak kadar yoğun olan bir kütlenin etrafını saran uzayzaman bölgesi.

Kara enerji İtici bir kuvvet uygulayan, Evren'in genişlemesinin hızlanmasına neden olan, fazla bilinmeyen bir enerji biçimi.

Kara madde Kütleçekiminin etkisi dışında hiçbir şeklide başka bir maddeyle etkileşmeyen ya da ışınım yaymayan bir madde. Evren'deki bütün kütlenin yüzde 85'ini oluşturur.

Kepler'in gezegen devinimi yasaları Gezegenlerin Güneş'in etrafında yörüngede dönme hızlarını ve şekillerini açıklamak için Johannes Kepler'ın bulduğu üç yasa.

Kırmızı cüce Soğuk, kırmızı, aydınlatma gücü düşük bir yıldız.

Kırmızı dev Büyük, aydınlatma gücü yüksek bir yıldız. Bir ana sekans yıldızı, ömrünün sonuna doğru bir kırmızı dev olur.

Kızıla kayma Bir ışık ya da başka bir ışınım tayfında, ışık kaynağı gözlemciden uzaklaştığında gerçekleşen daha uzun dalga boylarına kayma.

Kozmik ışın Elektronlar ve protonlar gibi, uzayda ışık hızına yakın yol alan yüksek enerjili parçacıklar.

Kozmik mikrodalga ardalan (CMB) Her yönden saptanabilir soluk mikrodalga ışınım. CMB Evren'deki en eski ışınımdır, Evren 380.000 yaşındayken salınmıştır. Varlığı Büyük Patlama teorisiyle öngörüldü ve ilk kez 1964'te saptandı.

Kozmolojik sabit Albert Einstein'ın genel görelilik denklemlerine eklediği, Evren'in genişlemesini hızlandıran kara enerjiye karşılık gelebilen bir terim.

Kuadrant 90°'ye kadar açıları ölçmek için kullanılan bir alet. Eski astronomlar, bir yıldızın gök küredeki konumunu ölçmek için kuadrant kullanırdı.

Kuark Temel bir atomaltı parçacık. Nötronlar ve protonlar üç kuarktan oluşur.

Kuasar Aktif bir galaksi çekirdeği olduğuna inanılan kompakt ama güçlü bir ışınım yayan yıldızsı radyo kaynağı.

Kuiper kuşağı Neptün'ün ötesinde çok sayıda kuyrukluyıldızın Güneş'in yörüngesinde döndüğü uzay bölgesi. Kısa periyotlu kuyrukluyıldızların kaynağıdır.

Kurtulma (Kaçış) hızı Bir nesnenin gezegen gibi daha büyük bir nesnenin kütleçekiminden kaçmak için ihtiyaç duyduğu minimum yol alma hızı.

Kuyrukluyıldız Güneş'in etrafında dönen küçük, buzlu cisim. Bir kuyrukluyıldız Güneş'e yaklaşınca, çekirdeğinden gaz ve toz buharlaşıp bir püskül ve bir ya da daha fazla kuyruk oluşturur.

Kütleçekim dalgası Kütlenin ivmesiyle yaratılan, ışık hızında hareket eden uzay bükülmesi.

Maviye kayma Bir ışığın ya da başka bir ışınımın tayfında, ışık kaynağı gözlemciye doğru hareket edince gerçekleşen daha kısa dalga boylarına kayma.

Mercekli teleskop Işığı yakınsak merceklerden geçirerek görüntü oluşturan teleskop.

Messier nesnesi İlk kez 1781'de Charles Messier'in katalogladığı bulutsulardan biri.

Meteorit Uzaydan düşen ve Dünya yüzeyine tek parça ya da parçalar halinde ulaşan kaya ya da metal topağı.

Mutlak kadir Bir yıldızın asli parlaklığının ölçüsü. Bir yıldızın 10 parsek uzaktan görünür kadri olarak tanımlanır.

Nova Haftalar ya da aylar süren bir dönemde aniden birlerce kat daha parlak olduktan sonra ilk parlaklığına dönen yıldız.

NÖN Neptün Ötesi Nesnenin kısaltılmışı. Neptün'den daha büyük bir ortalama uzaklıkta (30 AU) Güneş'in yörüngesinde dönen küçük gezegenler (cüce gezegen, esteroid ya da kuyrukluyıldız).

Nötrino Işık hızına yakın yol alan, çok düşük kütleli ve sıfır elektrik yüklü atomaltı parçacık.

Nötron yıldızı Neredeyse tamamen sıkışık nötronlardan oluşan çok yoğun, kompakt yıldız. Nötron yıldızları, yüksek kütleli bir yıldızın çekirdeği bir süpernova patlamasıyla çökünce oluşur.

Nötron Sıfır elektrik yüklü üç kuarktan oluşan atomaltı parçacık.

Nükleer füzyon Atom çekirdeklerinin birleşip daha ağır çekirdekler oluşturarak enerji saldığı süreç. Güneş gibi yıldızların içinde bu süreç, hidrojen atomlarının kaynaşıp helyum oluşturmasını gerektirir.

Olay ufku Bir kara deliğin etrafında, ötesinde hiçbir kütlenin ya da ışığın kütleçekiminden kurtulamadığı sınır. Bu noktada kara deliğin kaçış hızı ışık hızına eşittir.

Oort bulutu Oart-Öpik bulutu olarak da bilinir. Güneş Sisteminin kenarında gezegenimsiler ve kuyrukluyıldızlar barındıran küresel bölge. Uzun periyotlu kuyrukluyıldızların kaynağıdır.

Ön-yıldız Oluşumunun ilk evresinde, çökmekte olan, madde biriktiren ama içinde henüz nükleer füzyon başlamayan bir buluttan oluşan yıldız.

Öte-gezegen Güneş dışında başka bir yıldızın yörüngesinde dönen gezegen.

Özdevinim Bir yıldızın gök küredeki konumunu değiştirme oranı. Bu değişime, yıldızın diğer yıldızların devinimine göre devinimi neden olur.

Paralaks Bir gözlemcinin farklı bir yere hareketi nedeniyle bir nesnenin konumunda görünen kayma.

Proton Üç kuarktan oluşan, pozitif yüklü atomaltı parçacık. Hidrojen elementinin çekirdeği tek bir proton içerir.

Pulsar Hızlı dönen bir nötron yıldızı. Pulsarlar, Dünya'da hızlı, düzenli radyo dalgaları atımlarıyla saptanır.

Radyo astronomi İlk kez 1930'larda uzaydan geldiği keşfedilen uzun radyo dalga boyunda ışınım araştıran astronomi dalı.

Sarmal galaksi Bir sarmal kol örüntüsüyle, merkezi bir göbeğin ya da çubuğun etrafında yassı bir yıldız diski şeklini alan galaksi.

Schwarzschild yarıçapı Bir kara deliğin merkezinden olay ufkuna olan uzaklık.

Sefeit değişken Parlaklığı düzenli aralıklarla artan ve azalan atarlı yıldız. Parıldaması ne kadar fazlaysa, değişme periyodu o kadar uzundur.

SETI Search for Extra-Terrestrial Intelligence'ın (Dünya-dışı Zekâ Arayışı) kısaltılmışı.

Seyfert galaksisi Parlak, kompakt çekirdekli sarmal bir galaksi.

Spektroskopi Nesnelerin tayflarının incelenmesi. Bir yıldızın tayfı, yıldızın birçok fiziksel özelliği hakkında bilgi içerir.

Standart mum Sefeit değişken yıldız gibi aydınlatma gücü bilinen bir gök cismi. Bunlar, astronomların yıldız paralaksıyla ölçülemeyecek kadar büyük olan uzaklıkları ölçmelerine olanak verir.

Süpernova Bir yıldızın, Güneş'ten milyarlarca kat daha parlak olabilen bir patlamaya neden olan çöküşünün sonucu.

Durağan Hal teorisi Maddenin durmadan yaratıldığını öne süren bir teori. Teori, bir "Büyük Patlama"ya ihtiyaç duymadan Evren'in genişlemesini açıklama girişimiydi.

Şişme Büyük Patlamadan sonraki anlarda Evren'in uğradığı düşünülen kısa süreli hızlı genişleme dönemi.

Takımyıldız Gökkürede, çıplak gözle görülen yıldızların tanımlanabilir bir örüntüsünü içeren ve ad verilen 88 bölgeden biri.

Tayf Elektromanyetik ışınımın dalga boyları sırası. Tam tayf, dalga boyları bir atomdan daha kısa olan gama ışınlarından, dalga boyu metrelerce uzun olabilen radyo dalgalarına kadar uzanır.

Tedirginlik Bir cismin yörüngesinde, yörüngede dönen diğer cisimlerin kütleçekim etkisinin neden olduğu değişim. Uranüs gezegeninin yörüngesinde gözlemlenen tedirginlikler Neptün'ün keşfine yol açtı.

Tekillik Bilinen fizik yasalarının geçersiz gibi göründüğü sonsuz yoğunlukta bir nokta. Bir kara deliğin merkezinde bir tekillik bulunduğu varsayılır.

Tutulma dairesi Gök kürede Güneş'in geçtiği görünür yol. Dünya'nın yörünge düzlemine eşdeğerdir.

Tutulma Bir gök cismi ile gözlemci ya da yansıttığı ışığın kaynağı arasından geçen başka bir cismin ışığı engellemesi.

Uydu Büyük bir cismin yörüngesinde dönen küçük cisim.

Uzayzaman Üç uzay boyutu ile bir zaman boyutundan oluşan dört boyutlu bileşim. Görelilik teorisine göre, uzay ile zaman ayrı kendilikler olarak var olmazlar. Eşsürem (continuum) olarak birbirleriyle yakından ilişkilidirler.

Yalpalama Dönen bir cismin dönüş ekseninin yönünde, komşu cisimlerin kütleçekim etkisinin neden olduğu değişme.

Yer-merkezli merkezinde Dünya varmış gibi ele alınan bir sistem ya da yörünge.

Yıldız günü Dünya'nın ardalan yıldızlara göre ölçülen dönüş periyoduna karşılık gelen gün.

Yıldız paralaksı *Bkz.* paralaks.

Yıldız sapıncı Bir yıldızın, gözlemcinin yıldızın yönüne dik bir yönde hareketinin neden olduğu görünür devinimi.

Yıldız Nükleer füzyonla enerji üreten sıcak gazdan oluşan ışıltılı cisim.

Yozlaşma basıncı Çökmüş yıldız gibi yoğunlaşmış bir gaz topunun içinde, kütleli iki parçacığın aynı kuantum durumunda var olamayacağı ilkesi nedeniyle uygulanan dışa doğru basınç.

Yörünge Bir cismin daha kütleli başka bir cismin etrafında dönerken izlediği yol.

Zaman genişlemesi Birbirleriyle ilişkili ya da farklı kütleçekim alanlarında hareket eden iki cismin farklı bir zaman akışı yaşamaları fenomeni.

DİZİN

Koyu renk sayılar ana başlıkları gösterir.

A

B

I-İ

J

K

L

M

N

O-Ö

P

Q

R

S-Ş

T

U

V

W

XY

Z

TEŞEKKÜR

Dorling Kindersley, yayına hazırlık yardımlarından ötürü Allie Collins, Sam Kennedy ve Kate Taylor'a, düzelti için Alexandra Beeden'a, dizin için Helen Peters'e teşekkür eder.

FOTOĞRAFLAR

Yayınevi fotoğraflarının kullanılmasına izin verdikleri için aşağıdakilere teşekkür eder:

(Anahtar: **a**-yukarı; **b**-aşağı; **c**-orta; **f**-uzak; **l**-sol; **r**-sağ; **t**-üst)

24 Wikipedia (bc). **25 Wikipedia** (tr). **27 ESO:** Dave Jones/http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/ (bl). **28 Dreamstime.com:** Yang Zhang (bc) **29 Alamy Stock Photo:** JTB Media Creation, Inc. (bl). **31 Dreamstime.com:** Eranicle (br). **34 Dreamstime.com:** Nicku (bl). **36 Getty Images:** Bettmann (bl). **39 Tunc Tezel** (t). **45 Alamy Stock Photo:** Heritage Image Partnership Ltd (tr) **46 Alamy Stock Photo:** Heritage Image Partnership Ltd (bl). **47 Wellcome Images:** http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ (bl). **49 NASA:** M. Karovska/CXC/M.Weiss (tl). **52 Getty Images:** Bettmann (tr). **53 Wellcome Images:** http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ (tr). **55 Getty Images:** Print Collector (tr). **59 Dreamstime.com:** Brian Kushner (br). **Getty Images:** UniversalImagesGroup (tl). **61 Dreamstime.com:** Joseph Mercier (tr). **62-63 NASA:** DLR (t). **63 Dreamstime.com:** Nicku (bl) **64 NASA:** SDO/AIA (cr) **65 NASA:** ESA/E. Karkoschka (br). **68 Wellcome Images:** http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ (bl). **69 Science Photo Library:** Science Source (tr). **70 Dreamstime.com:** Zaclurs (bl). **71 NASA:** CXC/U.Texas/S. Park et al/ROSAT (bc). **72 Rice Digital Scholarship Archive:** http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/ (bl). **75 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (tr). **Wikipedia** (tl). **77 NASA:** W. Liller (tr). **85 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (bl). **Wikipedia** (cr). **87 Adam Evans:** http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/ (b). **88 Dreamstime.com:** Dennis Van De Water (c). **90 Science Photo Library:** Edward Kinsman (br). **91 Getty Images:** UniversalImagesGroup (tr). **93 Wellcome Images:** http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ (bl). **96 Wellcome Images:** http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ (bl). **97 NASA:** UCLA/MPS/DLR/IDA99 (tr). **98 Getty Images:** Science & Society Picture Library (bl). **99 NASA:** UCAL/MPS/DLR/IDA (bc). **100 Dreamstime.com:** Dennis Van De Water (bc). **101 Wellcome Images:** http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ (tr). **103 NASA:** SDO (br). **105 Wellcome Images:** http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/(tr, bl). **107 Science Photo Library:** Royal Astronomical Society (tr). **115 NASA** (tl); **Wellcome Images:** http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ (tr). **116 Dreamstime.com:** Aarstudio (cr). **117 Wikipedia** (bc). **119 Getty Images:** Gallo Images (tc) **Wikipedia:** J E Mayall (bl). **121 Harvard College Observatory** (tr, bl). **124-125 Science Photo Library:** Christian Darkin (b). **127 Library of Congress, Washington, D.C.** (tr). **NASA** (bl). **129 NASA:** SDO (bc). **135 Dreamstime.com:** Kirsty Pargeter (tl). **136 NASA:** ESA/Hubble Heritage Team (tr). **139 Wikipedia** (bl) **140 NASA:** ESA/J. Hester/A. Loll (bc). **150 Wikipedia** (bl) **152 NASA:** Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington (bl). **155 Alamy Stock Photo:** Mary Evans Picture Library (tr). **158 Alamy Stock Photo:** Brian Green (bl) **160 Lowell Observatory Archives** (bl). **NASA** (tl). **161 NASA:** ESA/Z. Levay/R. van der Marel/STScI/T. Hallas and A. Mellinger (br). **163 Alamy Stock Photo:** PF-(bygone1) (tr). **164 Wikipedia:** Nick Risinger (cr). **165 ESA** (bl). **167 Library of Congress, Washington, D.C.** (bl) **NASA:** SDO (tl). **169 Getty Images:** Bettmann (tr). **174 Getty Images:** New York Times Co. (bl). **175 Getty Images:** Margaret Bourke-White (tl). **177 ESA:** D. Ducros (t). **179 NRAO:** AUI/NSF/http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/ (cr). **181 Getty Images:** Bettmann (tr). **NASA** (tl). **183 Getty Images:** Ralph Morse (tr). **185 NASA:** ESA/A. van der Hoeven (cr) **186 NASA** (br). **190 Princeton Plasma Physics Laboratory:** (bl). **192 ESO:** Y. Beletsky/http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/ (bl). **193 ESA** (br). **NASA** (tl). **194 NASA** (tl). **195 NASA** (tr) **199 Getty Images:** Express Newspapers (tr). **200 NASA**: ESA/N. Smith/STScI/AURA (bc). **201 Getty Images:** Jerry Cooke (tr). **207 ESA** (br) **208 Getty Images:** Keystone-France (cr). **209 Getty Images:** Detlev van Ravenswaay (bc). **Wikipedia** (tr). **211 Dreamstime.com:** Mark Williamson (tr). **215 Getty Images:** Handout (tr). **216 NASA:** CXC/NGST (t); GSFC/JAXA (bc). **217 ESA:** XMM-Newton/Gunther Hasinger, Nico Cappelluti, and the XMM-COSMOS collaboration (br). **219 NASA:** ESA/M. Mechtley, R. Windhorst, Arizona State University (bl). **220 ESO:** M. Kornmesser/http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/ (tl). **221 California Institute of Technology** (bl). **NASA:** L. Ferrarese (Johns Hopkins University) (tc). **225 Science Photo Library:** Emilio Segre Visual Archives/American Institute of Physics (tr). **226 Getty Images:** Ted Thai (bl). **227 Science Photo Library:** Carlos Clarivan (tr); Emilio Segre Visual Archives/American Institute of Physics (bl). **230 Getty Images:** Bettmann (bl). **231 NASA:** Don Davis (tl). **232 NASA AMES Research Centre** (bl) **233 Science Photo Library** (tr). **234 NASA** (tr). **234-235 NASA:** Colby Gutierrez-Kraybill/https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/ (b). **235 NASA** (tr). **237 NASA** (br). **239 Getty Images:** Daily Herald Archive (tr) **241 NASA:** ESA/Z. Levay/STScI (br). **244 NASA** (bl). **245 NASA:** NASA Archive (tl). **246 NASA** (tr, bl) **247 NASA** (b) **248 NASA** (tl). **249 NASA** (br). **253 Brookhaven National Laboratory** (tr). **254 NASA**: CXC/M.Weiss (br). **262 NASA** (tr). **263 NASA** (bl). **264 NASA** (tr). **265 Science Photo Library:** NASA/Detlev van Ravenswaay (br). **266 NASA** (tl) **267 NASA** (tl). **271 NASA:** ESA/HST (bl). **Science Photo Library:** Detlev van Ravenswaay (tr). **273 Getty Images:** Mike Pont (tr). **274 Massimo Ramella** (bc). **275 Science Photo Library:** Prof. Vincent Icke (br). **277 NASA:** ESA/Hubble Heritage Team (tr). **279 ALMA Observatory:** ESO/NAOJ/NRAO (bc). **ESO:** A. Plunkett/http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/ (t). **282 NASA:** COBE Science Team (tr). **283 Michael Hoefner:** http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/ (bl). **284 NASA** (bl). **285 NASA** (tr). **287 Getty Images:** Bettmann (bl). **Science Photo Library:** John R. Foster (tr) **290 Alamy Stock Photo:** EPA European Pressphoto Agency b.v. (bl). **291 Dreamstime.com:** Photoblueice (tr). **293 NASA Goddard Space Flight Center:** S. Wiessinger (b). **294 NASA:** Kepler Mission/Dana Berry (bc); Kepler Mission/Dana Berry (br). **296 NASA:** ESA/E. Hallman (cr) **297 NASA:** CXC/Stanford/I. Zhuravleva et al. (br). **301 NASA** (br). **302 Science Photo Library:** Fermi National Accelerator Laboratory/US Department of Energy (bl); **Lawrence Berkeley National Laboratory** (tl). **303 Dreamstime.com:** Dmitriy Karelin (br). **304 ESA/Hubble:** C. Carreau (cr). **308 NASA:** UMD (bl). **309 ESA:** C. Carreau/ATG Medialab (tl). **310 Science Photo Library:** ESA/Rosetta/NAVCAM (tl). **311 ESA:** Rosetta/MPS for OSIRIS Team/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA (tr). **313 Science Photo Library:** Chris Butler (br). **315 Southwest Research Institute** (tr). **316 NASA:** Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute (tl). **317 NASA:** JHUAPL/SwRI (tl); JHUAPL/SwRI (tr). **320 NASA** (bl). **321 Getty Images:** Sovfoto (tl). **322 Science Photo Library:** NASA (bl) **323 NASA** (tr). **324 NASA:** MSSS (t). **325 Airbus Defence and Space** (tr). **327 ESO:** http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/ (br); L. Calçada/http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/ (tl) **329 NASA** (tl) **331 Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory (LIGO)** (tl).



GÜNEŞ SİSTEMİNİN ŞİDDETLİ DOĞUŞU



YENİ VE SIRA DIŞI BİR YILDIZ FARK ETTİM



YILDIZLAR DEV YA DA CÜCEDİR



EVREN'İN ÇOK BÜYÜK BÖLÜMÜ KAYIPTIR

Evreni nasıl ölçeriz? Olay ufku nerededir? Kara madde nedir? İnsanlığın şafağından beri insanlar gökyüzüne bakıp anlamaya çalıştı. Yüzyıllar içinde astronomi bilimi, Evreni ve onun içindeki yerimizi anlama çabasıyla insan bilgisinin sınırlarını en uç noktalara kadar götürdü.

Sade bir dille yazılmış **Astronomi Kitabı,** kolayca anlaşılan kısa ve özlü açıklamaları, temel ilkelerin düğümlerini adım adım çözen şemaları, astronomik keşifleri unutulmaz kılan alıntıları ve yıldızlara ilişkin anlayışımızı altüst eden esprili çizimleriyle başucu kitabınız olacak.

Bilgi düzeyiniz ne olursa olsun, ister hevesli bir öğrenci ister konunun teorisyeni olun, bu kitapta sizi kışkırtıp canlandıracak çok şey bulacaksınız.



DÜNÜ OLMAYAN BİR GÜN



KUYRUKLUYILDIZLAR KİRLİ KARTOPLARIDIR

Dizinin Diğer Kitapları



www.dk.com

ALFA BAŞVURU

alfakitap alfakitap
alfakitap www.alfakitap.com

ISBN 978-605-171-555-1